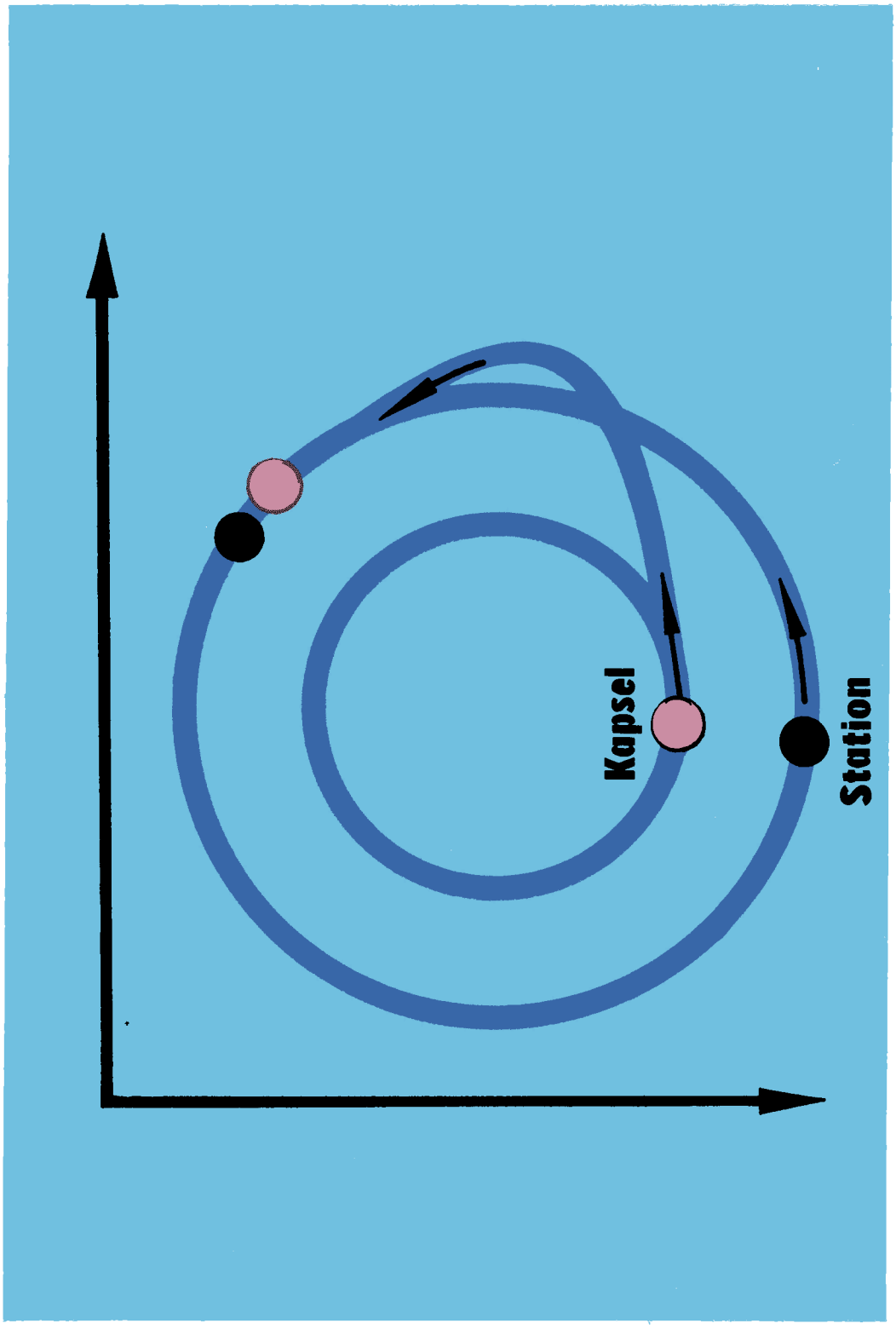
9 msr
1982 messen · steuern · regeln

Abteilung Elektro
27. SEP 1982
Betrieb Ammendorf

TIH
Eing. 13.9.82
weitergel. an:

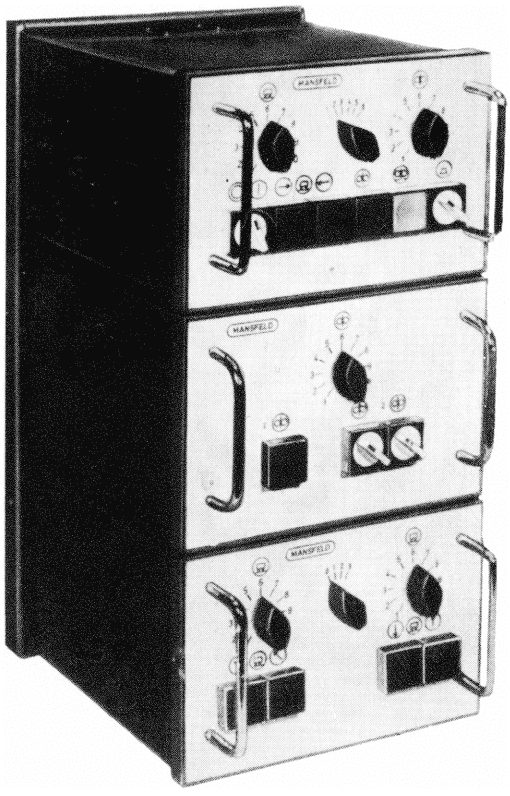


25. Jahrgang
Heft 9
September 1982

Verlagspostamt Leipzig
EVP: 4,00 M

VEB
Verlag Technik
Berlin

Index 32 525
ISSN 0026-0347



MANSFELD bietet mit den Einheitssteuerungen MSU Regel- und Steuerungseinrichtungen für teilautomatisch ablaufende Schweißprozesse

Die Typenreihe umfaßt 3 Steuerungsvarianten:

— MSU 2.1/1 für einen Drahtvorschubantrieb und einen Fahrantrieb
— MSU 2.0/1 für einen Drahtvorschubantrieb
— MSU 2.2/0 für zwei Zustellantriebe

Hohe Gebrauchswerteigenschaften wie:

- teilautomatisches Schweißen in beiden Richtungen mit gleicher und unterschiedlicher Nahtlänge,
- handgesteuertes Schweißen,
- gutes Zündverhalten,
- stufenlose Regelung der Drehzahlen der Antriebsmotoren im Verhältnis 1:10
- Endkraterfüllen bzw. Endkraterreduzierung,
- wahlweises Längs- oder Rundnahtschweißen,
- Fernabschaltung der Schweißstromquelle,
- geringe Masse und Abmessungen durch Einsatz der Steuerungselektronik

zeichnen die Universal-Einheitssteuerung aus.

MANSFELD

VEB MANSFELD KOMBINAT WILHELM PIECK DDR
425 EISLEBEN
MARKT 57·TEL. 5411
TELEX 04-7553
Werk für Anlagen- und Gerätebau

Exporteur:
Elektrotechnik EXPORT — IMPORT
Volkseigener Außenhandelsbetrieb
der Deutschen Demokratischen Republik
DDR-1026 Berlin, Alexanderplatz; Haus der Elektroindustrie

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ВНЕШТЕХНИКА

Die sowjetische Außenhandelsorganisation „Vneshtechnika" bietet ihre kommerzielle Hilfe den sowjetischen und ausländischen Organisationen und Firmen bei der Ausführung der folgenden wissenschaftlich-technischen Arbeiten und Dienstleistungen an:

- Projektierungs-, Konstruktions-, Forschungs- und Versuchsarbeiten (sowohl Auftrags- als auch Kooperationsaufgaben)
- Prüfung von Maschinen, Industrieausrüstungen, Roh- und Werkstoffen
- Gutachten, Konsultationen für Fachleute aller wichtigen Industriebereiche
- Ein- und Ausfuhr von Mustern wissenschaftlicher Geräte, von Erzeugnissen, Roh- und Werkstoffen
- Projektierung und Ausleihe wissenschaftlicher Ausrüstungen
- Lieferung von kompletten technischen Dokumentationen für modernste Industrieausrüstungen, Apparate, Anlagen, Werkzeugmaschinen und Industrietechnologien
- Übersetzung technischer Unterlagen aus westeuropäischen Sprachen ins Russische.

Die Aufträge werden unter Einsatz neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse ausgeführt.

Anschrift:
V/O „Vneshtechnika"
UdSSR Moskau 119034
Starokonjuschennyi per., 6
Telex: 411418 „MOLOT"
Telefon: 201-72-60

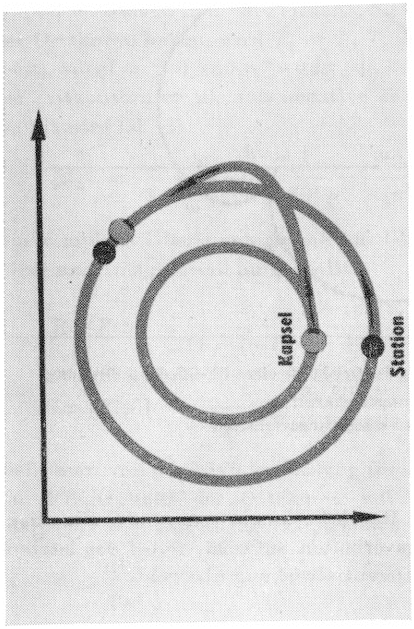
Anschrift der Filiale:
V/O „Vneshtechnika" Kiev
UdSSR Kiev 252033
Nikolsko-Botanitscheskaja ul., 2
Telex: Kiev, Vneshtechnika
Telefon: 24-51-44

VSESOJUZNOJE OBJEDINENIJE
VNESHTECHNIKA

msr

messen · steuern · regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Andockmanöver von Raumkapseln an im All befindliche Raumstationen sollen aus verständlichen Gründen möglichst unter minimalem Energieeinsatz erfolgen.
Zur Lösung dieses und anderer Optimierungsprobleme unabhängig von Randwerten wird im Beitrag auf S. 485 die Anwendung der Methode des „erweiterten dualen invarianten Einbettens" auf ein System von nichtlinearen Differentialgleichungen, das die Relativbewegungen zwischen Kapsel und Station beschreibt, vorgeschlagen. Zur konkreten Berechnung der Bahnen mit aktuellen Randwerten ist dann lediglich die punktweise Lösung linearer Gleichungssysteme erforderlich.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Redaktionsbeirat:

Obering. G. F. Berg, Dr. rer. nat. A. Borgwardt, Dr.-Ing. E. h. W. Britall, Prof. Dr.-Ing. W. Fritzsch, Doz. Dr.-Ing. H. Fuchs, Dr. rer. nat. H. Gena, Dipl.-Ing. H. Gottschalk, Dr.-Ing. K. Hilscher, Prof. Dr.-Ing. habil. D. Hofmann, Dipl.-Ing. K. Keller, Prof. em. Dr. phil. nat. Dr.-Ing. E. h. H. Kindler, Dipl.-Phys. G. Meister, Dr.-Ing. J. Müller, Prof. Dr. sc. techn. R. Müller, Obering. K.-H. Nagel, Prof. Dr.-Ing. S. Pilz, Dr.-Ing. W. Reichel, Prof. Dr. sc. techn. K. Reinisch, Dr.-Ing. H. Schulze, Prof. Dr.-Ing. H. Töpfer, Prof. Dr. sc. oec. G. Viehweger

9

25. Jahrgang
September 1982

VEB
VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

482 *H. Giesler*
Beitrag zum Verzögerungsverhalten von PT-Gliedern 3. Ordnung

485 *F. Breitenecker*
Zur Lösung des linear-quadratischen Optimal-Control-Problems

489 *E. Liß*
Lernender Homöostat zur Demonstration adaptiver Steuerungen mit künstlichem Intellekt

494 *H.-W. Röder* und *G.-S. Rösel*
Anwendung und Vergleich von 6 Entwurfsverfahren für Mehrgrößenregelungen auf ein Dampferzeugermodell

499 *H. Bischoff*
Zum Entwurf von Deadbeat-Reglern

502 *R. Vetter*
Entwicklung eines Flächenmassemeßgerätes zur Messung statischer und dynamischer Parameter im Druckprozeß

506 *A. Prautsch*
Algorithmus für die Berechnung von Segmentblenden

508 *W. Enkelmann*
Eine Softwarelösung zur Kopplung der ursadat 5000 mit einem Rechner K 1620/K 1630 im Prozeßrechnersystem A 6491/A 6492

512 *H. Kloust*
Informationen zu neuen internationalen Vorschriften der Elektro- und Automatisierungstechnik

515 **FORTSETZUNGSREIHE**

517 **KURZBEITRAG**

518 **AUS DER ARBEIT DER WGMA**

518 **TAGUNGEN UND KOLLOQUIEN**

521 **MESSEN UND AUSSTELLUNGEN**

522 **DISSERTATIONEN**

523 **TECHNISCHE INFORMATIONEN**

525 **PATENTREFERATE**

526 **HISTORISCHES**

532 **BUCHBESPRECHUNGEN**

536 **NEUE BÜCHER AUS DER UDSSR**

537 **VORSCHAU UND KURZINFORMATIONEN**

Prof. Dr.-Ing. *H. Giesler*, Kassel[1])

Beitrag zum Verzögerungsverhalten von PT-Gliedern 3. Ordnung

IA 2.1.

0. Einleitung

Die Reglerverstärkung ist eine Funktion der Anzahl, des Typs und des Grades der zeitlichen Verzögerungen, aus denen eine Regelstrecke aufgebaut ist. Die charakteristischen Kennwerte einer Regelstrecke, die Zeitkonstanten, bestimmen Form, Größe und Lage der Ortskurve. Im Beitrag werden PT-Glieder 3. Ordnung hinsichtlich der gegenseitigen Beeinflussung der Verzögerungsanteile untersucht, wobei insbesondere der Einfluß der einzelnen Zeitkonstanten auf die Lage der Ortskurve dargestellt wird.

1. Einführende Übersicht

Im Beitrag sollen Regelstrecken untersucht werden, die das charakteristische Verhalten eines PT-Gliedes 3. Ordnung aufweisen. Ist dies der Fall, so können solche Regelstrecken entweder ein **reines** oder ein **eingeschränktes** Verzögerungsverhalten zeigen. Da das Verhalten eines Regelsystems sowohl von den Eigenschaften der Regelstrecke als auch von denen des Reglers abhängig ist, stellt sich hier die Frage nach den Bedingungen, unter denen ein eingeschränktes Verzögerungsverhalten und die Einschränkung des Frequenzbereiches besteht. Außerdem fordert die primäre Frage nach der Stabilität des Regelkreises und der optimalen Reglereinstellung die genaue Kenntnis über den strukturellen Aufbau, die Kennwerte und das Verhalten der Regelstrecke.

Sowohl die Übergangsfunktion als auch der Frequenzgang einer Regelstrecke liefern die Kenngrößen für die Auswahl und die Einstellung des Reglers, wobei aber der Frequenzgang auch noch in die tieferen Zusammenhänge des Aufbaues und deren Regelbarkeit einführt [1].

Die Frequenzganggleichung eines PT-Gliedes 3. Ordnung kann in ihrer allgemeinen Form nur dann rechnerisch ermittelt werden, wenn die einzelnen Zeitkonstanten und, falls die Regelstrecke aus mehreren Regelkreisgliedern besteht, die Art und ihre Zusammenschaltung bekannt sind [2]. Sinnvollerweise soll im folgenden nur von einer eingeschränkten Form des Frequenzganges gesprochen werden, nämlich von dem Frequenzgang bei reellen positiven Frequenzen.

PT-Regelstrecken 3. Ordnung kommen nicht nur in verfahrenstechnischen Anlagen, sondern ganz allgemein in allen Bereichen der Technik vor. Meist bestehen diese Regelstrecken aus trägheitsbehafteten passiven Gliedern [3].

Das Verzögerungsverhalten als charakteristisches Kennzeichen eines PT-Gliedes wird in dem Bereich von $\omega = 0$ bis $\omega = \infty$ als Lösung der Frequenzganggleichung durch die Ortskurve in der komplexen Zahlenebene dargestellt. Die konstruktiv bedingten Zeitkonstanten T_1, T_2 und T_3 bestimmen aber nicht nur die Form und den Verlauf der Ortskurve, sondern auch ihre Lage. Die Beziehungen der einzelnen Zeitkonstanten untereinander bestimmen insbesondere die Lage der Ortskurve und damit

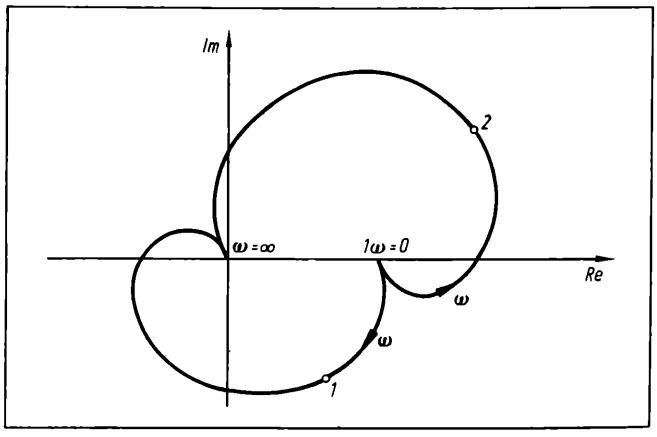


Bild 1. Allgemeine Darstellung der Ortskurve eines PT-Gliedes 3. Ordnung
Ortskurve 1: Reines Verzögerungsverhalten
Ortskurve 2: Eingeschränktes Verzögerungsverhalten

schließlich auch, ob die Regelstrecke ein reines oder ein eingeschränktes Verzögerungsverhalten aufweist, wobei das letztere in ein Verhalten mit Differentialwirkung übergeht.

2. Problemstellung

Die Form der Ortskurve eines PT-Gliedes 3. Ordnung mit reinem Verzögerungsverhalten ist bekannt. Bei solchen Regelstrecken kann aber die Ortskurve schließlich zu einer Unendlichkeitsstelle aufplatzen und wegen eventuell aufklingender Schwingungen instabiles Verhalten aufweisen [3].

Das Übertragungsverhalten eines Regelkreisgliedes 3. Ordnung wird, Zeitinvarianz vorausgesetzt, durch die lineare inhomogene Differentialgleichung

$$T_3^3 \dddot{x}_a(t) + T_2^2 \ddot{x}_a(t) + T_1 \dot{x}_a(t) + x_a(t) = K x_e(t) \tag{1}$$

vollständig beschrieben.

Setzt man den Verstärkungsfaktor $K = 1$ und transformiert die Differentialgleichung von dem Zeitbereich in den Frequenzbereich, so lautet die komplexe Übertragungsfunktion

$$F(p) = \frac{1}{1 + T_1 p + T_2^2 p^2 + T_3^3 p^3}. \tag{2}$$

Es bedeuten $p = j\omega$ und T_1, T_2, T_3 die konstruktiv bedingten Zeitkonstanten.

Entsprechend Gl. (2) beginnen alle Ortskurven, ganz gleich, ob sie ein reines oder ein eingeschränktes Verzögerungsverhalten aufweisen, bei dem Punkt „1" auf der positiven reellen Achse (Bild 1).

Handelt es sich nun um ein reines Verzögerungsverhalten des Regelkreisgliedes, so verläuft der Zeiger $|F(p)|$ für alle ω-Werte in dem Bereich negativer Phasenwinkel. Für diesen Fall schneidet die Ortskurve die negative reelle Achse also in einem Punkt $\mathrm{Re}\,[F(p)] < 0$. Bei einem eingeschränkten Verzögerungsverhalten dagegen liegt der Schnittpunkt der Ortskurve auf der posi-

[1]) Mitteilung aus der Universität – Gesamthochschule Kassel, Laboratorium für Meß- und Regelungstechnik.

tiven reellen Achse in einem Bereich Re $[F(p)] > 1$, weil der Zeiger $|F(p)|$ entgegengesetzt der Uhrzeigerdrehrichtung verläuft. Die Forderung nach einer aufgeklärten Struktur des Regelkreisgliedes 3. Ordnung macht es aber notwendig, Kriterien zu entwickeln, die den Einfluß der Zeitparameter T_1, T_2 und T_3 auf die Lage der Ortskurve vollständig beschreiben. Außerdem ist eine Aussage a priori in bezug auf die Lage der Ortskurve für die Anwendung von Stabilitätskriterien relevant.

3. Allgemeiner Fall

Ein Regelkreisglied mit unterschiedlichen Zeitkonstanten, also $T_1 \neq T_2 \neq T_3$, wird in der Praxis der häufigste vorkommende Fall sein.

Um zu verstehen, daß die Zeitkonstanten Einfluß auf die Lage der Ortskurve haben, wird $T_1 = T$, $T_2 = mT$ und $T_3 = nT$ gesetzt, wobei $m > 0$ und $n > 0$ ist, da aus technischen Gründen die Zeitkonstanten niemals negative Werte annehmen können. Damit wird Gl. (2)

$$F(p) = \frac{1}{1 + Tp + (mT)^2 p^2 + (nT)^3 p^3}. \tag{3}$$

Die komplexe Übertragungsfunktion Gl. (3) wird nun in einen Real- und Imaginärteil aufgespalten

$$\mathrm{Re}\,[F(p)] = \frac{1 - (mT\omega)^2}{[1 - (mT\omega)^2]^2 + [T\omega - (nT\omega)^3]^2}, \tag{4}$$

$$\mathrm{Im}\,[F(p)] = \frac{(nT\omega)^3 - T\omega}{[1 - (mT\omega)^2]^2 + [T\omega - (nT\omega)^3]^2}. \tag{5}$$

Sieht man von der trivialen Lösung für $\omega = 0$ ab, so ergibt sich ein Schnittpunkt der Ortskurve mit der reellen Achse bei Im $[F(p)] = 0$. Der dazugehörige ω-Wert ist

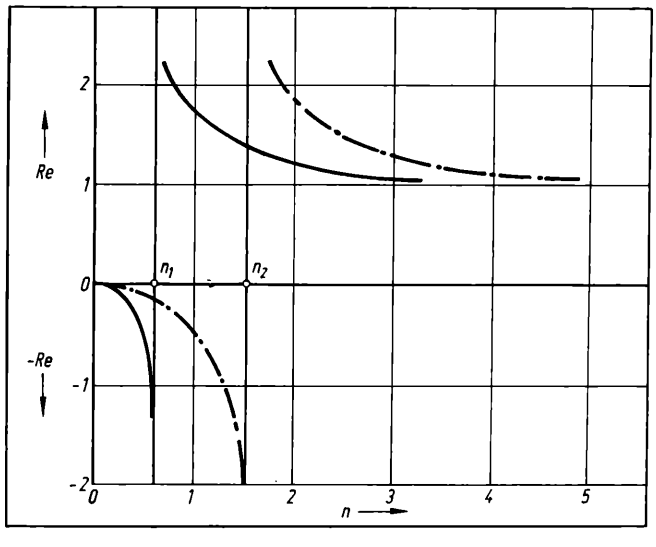
$$\omega = \frac{n^{1/2}}{Tn^2}. \tag{6}$$

Man setzt nun diesen ω-Wert in die Gl. (4) ein und erhält

$$\mathrm{Re}\,[F(p)] = \frac{n^3}{n^3 - m^2}. \tag{7}$$

Man betrachte zunächst die Gl. (7) für den Fall m = konst. und fasse dabei n als einen freiwählbaren Parameter auf. Bild 2 zeigt den Funktionsverlauf des Realteils in Abhängigkeit von n.

Bild 2. Funktionsverlauf von Re $[F(p)]$ in Abhängigkeit von n
——— Kurve für $m = 0{,}5$; Pol bei $n_1 = 0{,}6299$
—·—·— Kurve für $m = 2{,}0$; Pol bei $n_2 = 1{,}5874$



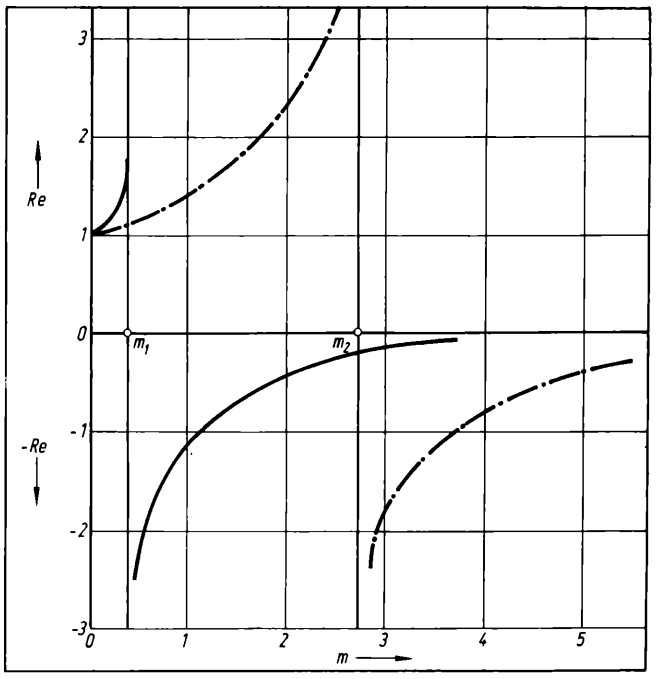


Bild 3. Funktionsverlauf des Realteils in Abhängigkeit von m
——— Kurve für $n = 0{,}5$; Pol bei $m = 0{,}3535$
—·—·— Kurve für $n = 2{,}0$; Pol bei $m = 2{,}83$

Bei einem veränderlichen Wert von n ist der Pol nur von der konstanten Größe m abhängig. Je größer die Konstante m gewählt wird, das bedeutet gemäß Gl. (2) bzw. Gl. (3), je größer der Zeitparameter T_2 wird, desto mehr verschiebt sich der Pol auf der n-Achse nach rechts.

Es gilt:

$$m^{2/3} < (m + q)^{2/3} \quad \text{mit} \quad q > 0\,. \tag{8}$$

Da aber die Konstante m nur endliche Werte annehmen kann, hat gemäß Gl. (7) die Asymptote immer den Wert „1". Für alle PT-Glieder 3. Ordnung, die ein reines Verzögerungsverhalten zeigen, schneidet die Ortskurve die negative reelle Achse. Aus dem Funktionsverlauf des Realteils im Bild 2 ist zu erkennen, daß für alle n-Werte in dem Bereich $0 < n < m^{2/3}$, also alle linksseitigen n-Werte vom Pol, negative Realteile vorliegen. Das bedeutet aber für n-Werte, in diesem Bereich hat das Regelkreisglied reines Verzögerungsverhalten. Ein eingeschränktes Verzögerungsverhalten haben dagegen alle PT-Glieder 3. Ordnung, wenn die Bedingung $n > m^{2/3}$ erfüllt ist.

Die bisherige Darstellung behandelte den Fall m = konst. und n veränderlich. Aus rein praktischen Gründen muß aber auch der umgekehrte Fall untersucht werden. Für n = konst. und m als freiwählbaren Parameter ist der Funktionsverlauf des Realteils in Abhängigkeit von m im Bild 3 grafisch dargestellt.

Während bei der vorhergehenden Betrachtung im linksseiten Bereich von der Polstelle allen Werten ein reines Verzögerungsverhalten zugeordnet war, zeigt sich hier gerade die gegenteilige Zuordnung. Im Bereich $0 < m < n^{3/2}$ liegt für das PT-Glied dritter Ordnung ein eingeschränktes und für den Bereich $n^{3/2} < m < \infty$ ein reines Verzögerungsverhalten vor.

Bedingt durch:

$$n^{3/2} < (n + q)^{3/2} \quad \text{mit} \quad q > 0 \tag{9}$$

wächst auch die Verschiebung der Polstelle auf der m-Achse stärker an.

4. Sonderfall

Die bisherige Darstellung behandelte den allgemeinen Fall $T_1 \neq T_2 \neq T_3$, bei dem die einzelnen Zeitparameter durch eine

mehr oder weniger starke Abhängigkeit miteinander verbunden sind. In der Praxis kann es aber durchaus vorkommen, daß die beiden Zeitkonstanten T_2 und T_3 gleich sind. Gemäß Gl. (3) ist dann $m = n$.

Setzt man nun $m = n = \psi$, dann geht die Gl. (7) in Gl. (10) über.

$$\mathrm{Re}\,[F(p)] = \frac{1}{1 - \frac{1}{\psi}} \quad \text{gilt für} \quad \psi > 0\,, \qquad \psi \neq 1\,. \tag{10}$$

Der Grenzübergang für $\psi \to 0$ und $\psi \to \infty$ ergibt

$$\lim_{\psi \to 0} \frac{1}{1 - \frac{1}{\psi}} = -0\,, \tag{11}$$

$$\lim_{\psi \to 0} \frac{1}{1 - \frac{1}{\psi}} = 1\,. \tag{12}$$

Wird der Sonderfall $\psi = 1$ ausgeschlossen, so ergeben sich für die Schnittpunkte der Ortskurve im Bereich $0 < \psi < 1$ sowohl für die reelle als auch für die imaginäre Achse negative Werte. Die Ortskurve zeigt für alle ω-Werte ein reines Verzögerungsverhalten, weil der Zeiger $|F(p)|$ nur das Gebiet mit nacheilendem Phasenwinkel durchläuft.

Betrachtet man dagegen den Bereich für $\psi > 1$, so sind die Schnittpunkte der Ortskurve sowohl mit der reellen als auch imaginären Achse positiv, das bedeutet aber, daß die Regelstrecke nur für den beschränkten Bereich $0 < \omega < \frac{\psi^{1/2}}{T\psi}$ ein Verzögerungsverhalten zeigt. In dem Bereich $\frac{\psi^{1/2}}{T\psi^2} < \omega < \infty$ liegt eine Differentialwirkung vor, der Zeiger $|F(p)|$ durchläuft ein Gebiet mit voreilenden Phasenwinkel. Für den Wert $\omega = \frac{\psi^{1/2}}{T\psi^2}$, also im Schnittpunkt der Ortskurve mit der reellen Achse, ist der Phasenwinkel $\varphi = 0$ oder 180°, je nachdem, ob $\psi > 1$ oder $\psi < 1$ ist. Im Bild 4 ist der prinzipielle Verlauf der Ortskurve von PT-Gliedern 3. Ordnung grafisch dargestellt.

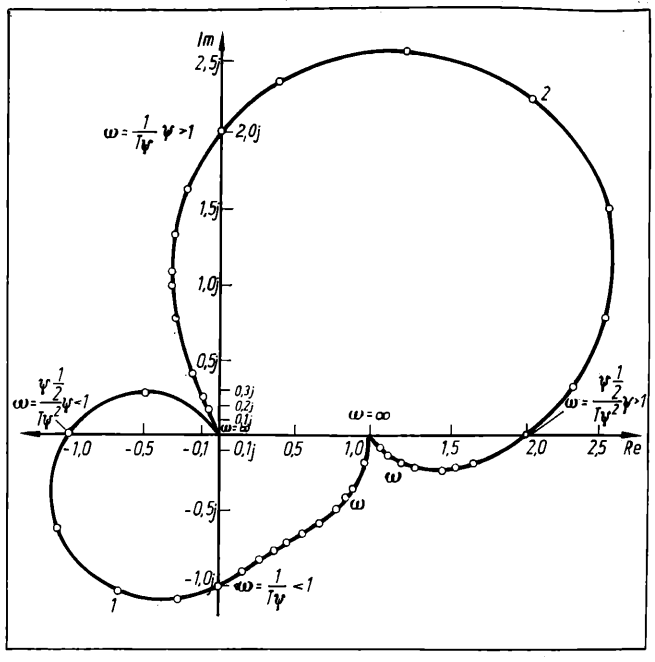


Bild 4. Ortskurvenverlauf von PT-Gliedern 3. Ordnung, $T_2 = T_3$
1 Ortskurve mit reinem Verzögerungsverhalten $T = 1$; $\psi = 0{,}5$
2 Ortskurve mit eingeschränktem Verzögerungsverhalten $T = 1$; $\psi = 2$

5. Beispiele

Bekannt sei ein RC-Netzwerk, das die Frequenzganggleichung (2) erfüllt. Die Zeitkonstanten werden ermittelt zu $T_1 = 0{,}1$ s; $T_2 = 0{,}2$ s und $T_3 = 0{,}3$ s. Für dieses PT-Glied ist $m = 2$ und $n = 3$.

Der Schnittpunkt der Ortskurve mit der reellen Achse kann nun sofort gemäß Gl. (7) bestimmt werden.

$$\mathrm{Re}\,[F(p)] = 1{,}412\,.$$

Da Re $[F(p)] > 1$ ist, handelt es sich um ein Regelkreisglied mit eingeschränktem Verzögerungsverhalten, wie auch aus der grafischen Darstellung der Ortskurve im Bild 5 zu erkennen ist. Der Verzögerungsanteil wirkt sich nur in dem Bereich $\omega = 0$ bis $\omega = \frac{n^{1/2}}{Tn^2} = 1{,}925$ aus.

Bei Re $[F(p)] = 0$ schneidet die Ortskurve die positive imaginäre Achse, bei einem ω-Wert von $\omega = \frac{1}{Tm} = 5$. Der dazugehörige Imaginärteil bestimmt sich gemäß Gl. (11) zu:

$$\mathrm{Im}\,[F(p)] = \frac{m^3}{n^3 - m^2} = 0{,}3478\,\mathrm{j}\,. \tag{11}$$

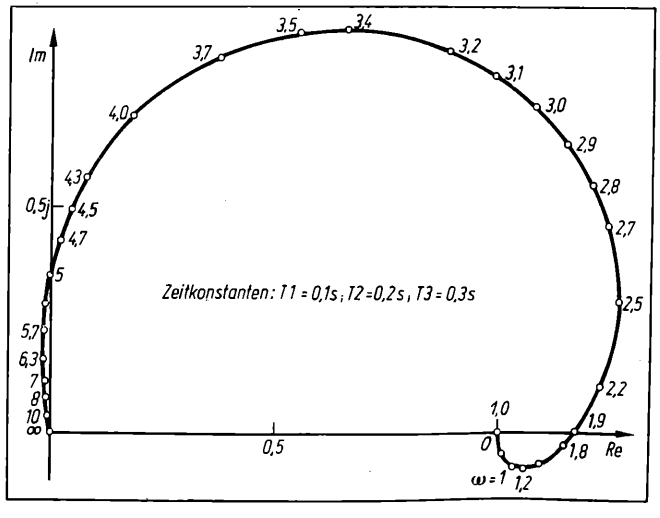
6. Schlußbetrachtung

Eine Vielzahl von Autoren hat zur Beschreibung von Regelungen und deren Kennwerten mathematische und grafische Verfahren entwickelt, wobei oftmals der Frequenzgangmethode der Vorrang gegeben wurde [4] bis [23].

In der angegebenen Literatur fehlt aber ein Hinweis auf das eingeschränkte Verzögerungsverhalten von PT-Gliedern 3. Ordnung. Da auch in den Lehrbüchern der Regelungstechnik bei der Behandlung von Regelstrecken höherer Ordnung nur das reine Verzögerungsverhalten dargestellt wird, soll mit dieser Arbeit eine Lücke geschlossen werden, da es grundsätzlich zwei Formen der Ortskurve für PT-Glieder 3. Ordnung gibt, wobei Lage, Form und Verlauf der Ortskurve durch die konstruktiv bedingten Zeitkonstanten bestimmt werden.

PT-Glieder 3. Ordnung haben ein **reines** Verzögerungsverhalten in einem Bereich $\omega = 0$ bis $\omega = \infty$, wenn der Schnittpunkt der

Bild 5. Ortskurve eines Regelkreisgliedes 3. Ordnung mit eingeschränktem Verzögerungsverhalten



Ortskurve auf der negativen reellen Achse liegt. Dies ist der Fall, wenn die Bedingung $\frac{n^3}{n^3 - m^2} < 0$ erfüllt ist.

Für ein **eingeschränktes** Verzögerungsverhalten gilt

$$\frac{n^3}{n^3 - m^2} > 1 \quad \text{oder allgemein} \quad \frac{n^3}{n^3 - m^2} > K$$

und damit für den ω-Bereichen von $\omega \doteq 0$ bis $\omega = \frac{n^{1/2}}{T \cdot n^2}$.

Zu bemerken sei noch, daß bei eingeschränktem Verzögerungsverhalten für den angegebenen ω-Bereich nicht nur der Phasenwinkel, sondern auch das Amplitudenverhältnis eingeschränkt ist.

Gemeinsam ist bei beiden Ortskurventypen der Beginn für $\omega = 0$ beim Punkt „1" bzw. „K" auf der positiven reellen Achse und das Einmünden der Ortskurve für $\omega = \infty$ in den Koordinatenursprung. Ferner haben beide Ortskurven je ein Maximum und ein Minimum.

Die Ortskurve schneidet die negative imaginäre Achse, wenn $\frac{m^3}{n^3 - m^2} < 0$, die positive imaginäre Achse, wenn $\frac{m^3}{n^3 - m^2} > 0$ erfüllt ist. Diese Bedingung ist ein weiteres Kriterium, um festzustellen, ob ein reines oder eingeschränktes Verzögerungsverhalten eines PT-Gliedes 3. Ordnung vorliegt.

Literatur

[1] *Aikmann, A. R.:* Die praktische Untersuchung von Regelungen mit Hilfe der Frequenzgangmethode. Regelungstechnik (1953) H. 1, S. 4–8.

[2] *Blass, K. H.:* Anwendung der Frequenzganganalyse beim praktischen Betrieb von Regeleinrichtungen. Regelungstechnik (1954) H. 6, S. 137–143.

[3] *Oppelt, W.:* Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge. Verlag Chemie 1960.

[4] *Dzung, L. S.:* Die Ortskurve als Hilfsmittel zur Kennzeichnung von Regelkreisgliedern. Regelungstechnik (1953) H. 5, S. 123 und 124.

[5] *Bopp, K.:* Die Ermittlung der dynamischen Kennwerte eines Regelkreises aus Übergangsfunktion und Frequenzgang. Regelungstechnik (1957) H. 9, S. 298–302.

[6] *Gordon, K.; Johnson, L.; Inez, M.; Turner, W.:* Die Anwendung des Frequenzganges auf die industrielle Planungsarbeit. Regelungstechnik (1957) H. 9, S. 189–192.

[7] *Profos, P.; Keller, H.:* Eine graphische Methode zur Durchführung periodischer Funktionaltransformation und ihre Anwendung auf die Bestimmung der Übergangsfunktion aus dem Frequenzgang. Regelungstechnik (1957) H. 1, S. 11–15.

[8] *Oppelt, W.:* Untersuchungsverfahren für die dynamischen Kennwerte von Regler und Regelstrecke. Regelungstechnik (1953) H. 3, S. 56–60.

[9] *Oppelt, W.:* Das Gestalten von Regelkreisen an Hand der Ortskurvendarstellung. Archiv der Elektrischen Übertragung (1950) H. 4, S. 11–16.

[10] *Oppelt, W.:* Zum Dämpfungsgrad der Regelungsdifferentialgleichung dritter Ordnung. Archiv Elektrotechnik **37** (1943) H. 7, S. 357–360.

[11] *Schäfer, O.:* Über Erfahrungen mit der Bestimmung der Übergangsfunktion aus dem Frequenzgang durch ein Analysiergerät. Regelungstechnik (1954) H. 6, S. 149–152.

[12] *Schäfer, O.; Feissel, W.:* Ein verbessertes Verfahren zur Frequenzgang-Analyse industrieller Regelstrecken. Regelungstechnik (1956) H. 9, S. 225 bis 229.

[13] *Ströle, D.:* Messung von Frequenzgängen. Regelungstechnik (1955) H. 8, S. 197–200.

[14] *Syrbe, M.:* Über die optimale Einstellung von Reglern auf Grund geometrischer Daten der Regelstrecken-Frequenzgänge. Regelungstechnik (1953) H. 7, S. 160–166.

[15] *Tagajewskaja, A. A.:* Die Bestimmung der Amplituden-Phasen-Charakteristik linearer Systeme aus der Übergangsfunktion. Regelungstechnik (1956) H. 3, S. 68–72.

[16] *Schneeweiss, W.:* Nichtlineare Regler an Strecken mit Verzögerung höherer Ordnung. Regelungstechnik (1958) H. 12, S. 437–442.

[17] *Cremer, H.; Kolberg, F.:* Zur Stabilitätsprüfung mittels der Frequenzgänge von Regler und Regelstrecke. Regelungstechnik (1960) H. 6, S. 190–194.

[18] *Föllinger, O.:* Über die Umlaufzahl der Ortskurve. Regelungstechnik (1960) H. 9, S. 308–311.

[19] *Schneider, A.:* Die näherungsweise Bestimmung der Übergangsfunktion von Regelungsvorgängen aus dem Frequenzgang, Teil I. Regelungstechnik (1961) H. 7, S. 277–282.

[20] *Schneider, A.:* Die näherungsweise Bestimmung der Übergangsfunktion von Regelungsvorgängen aus dem Frequenzgang, Teil II. Regelungstechnik (1961) H. 8, S. 327–332.

[21] *Stepan, J.:* Näherungsverfahren für Frequenzgänge mit Hilfe des Dominatwurzelpaares. Regelungstechnik (1962) H. 8, S. 353–357.

[22] *Henning, H.:* Systematische Ermittlung von Frequenzganggleichungen. Regelungstechnik. Moderne Theorien und ihre Verwendbarkeit. S. 74–78. München: R. Oldenbourg 1957.

[23] *Märzendorfer, H.:* Die Frequenzgangdarstellung bei Nichtlinearitäten und unstetigen Regelvorgängen. Regelungstechnik. Moderne Theorien und ihre Verwendbarkeit. S. 165–168. München: R. Oldenbourg 1957.

msr 7580

Dipl.-Ing. Dr. *F. Breitenecker*, Wien[1])

Zur Lösung des linear-quadratischen Optimal-Control-Problems

IA 2.3.1.5.

0. Einleitung

In diesem Beitrag wird ein Verfahren zur Lösung des linear-quadratischen Optimal-Control-Problems vorgestellt.

Das Verfahren — „erweitertes invariantes (duales) Einbetten" — besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil („off-line"-Teil) erfordert die Lösung und Abspeicherung von Matrixdifferentialgleichungen, die von den Randwerten des Problems unabhängig sind und von denen eine an die wohlbekannte Riccati-Gleichung erinnert. Im zweiten Teil („on-line"-Teil) werden unter Verwendung der Randwerte und der abgespeicherten Lösungen aus Teil 1 die optimale Steuerung und die zugehörigen Zustandsvektoren punktweise durch Lösen linearer Gleichungssysteme errechnet. Ist die Lösung des Problems für andere Randwerte oder für eine andere (kürzere) Endzeit gesucht, so müssen nur lineare Gleichungssysteme nochmals gelöst werden; es ist keine neuerliche Integration erforderlich. Es stehen zwei Varianten des Verfahrens zur Verfügung, die sich im Stabilitätsverhalten der Riccati-Gleichung unterscheiden.

1. Problembeschreibung

Das linear-quadratische Optimal-Control-Problem wird in Zustandsraumdarstellung durch das lineare dynamische System

$$\dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{A}(t)\,\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}(t)\,\boldsymbol{u}(t) \qquad (1.1$$

[1]) Mitteilung aus der TU Wien, Institut für Technische Mathematik, Arbeitsbereich Regelungstheorie und Hybridrechentechnik.

und durch das zu minimierende Gütefunktional

$$I(\boldsymbol{u}) = \tfrac{1}{2}\,\boldsymbol{x}^T(t_e)\,\boldsymbol{F}\boldsymbol{x}(t_e) + \\ + \tfrac{1}{2}\int_{t_0}^{t_e}\left(\boldsymbol{x}^T(t)\,\boldsymbol{Q}(t)\,\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{u}^T(t)\,\boldsymbol{R}(t)\,\boldsymbol{u}(t)\right)\mathrm{d}t \to \min \qquad (1.2)$$

über dem Zeitintervall $[t_0, t_e]$ beschrieben. Der Zustandsvektor $\boldsymbol{x}(t)$ sei n-dimensional, der Steuerungsvektor $\boldsymbol{u}(t)$ m-dimensional, woraus sich die Dimension für die Systemmatrix $\boldsymbol{A}(t)$, für die Verstärkungsmatrix $\boldsymbol{B}(t)$, für die positiv definite symmetrische Gewichtungsmatrix $\boldsymbol{R}(t)$ und für die positiv semidefiniten symmetrischen Gewichtungsmatrizen $\boldsymbol{Q}(t)$ und $\boldsymbol{F}$ ergeben. Das System soll vom Anfangszustand $\boldsymbol{x}(t_0) = \boldsymbol{x}_0$ in einen festen Endzustand $\boldsymbol{x}(t_e) = \boldsymbol{x}_e$ („Problem mit festem Randwert") übergeführt werden ($\boldsymbol{F} = \boldsymbol{0}_n$) oder von einer Anfangsauslenkung $\boldsymbol{x}_0$ wieder möglichst nahe der Ruhelage $\boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{0}_n$ („Problem mit freiem Randwert") kommen ($\boldsymbol{F} \neq \boldsymbol{0}_n$). Im folgenden wird auf die Angabe der Zeitabhängigkeit $(\boldsymbol{A}(t), \boldsymbol{u}(t), \ldots)$ verzichtet, wenn keine Verwechslung möglich ist. *Pontryagins* Maximumprinzip [9] führt die Gln. (1.1) und (1.2) zurück auf die lineare Randwertaufgabe (RWA)

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}} &= \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} - \boldsymbol{B}\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{p}\,, \\ \dot{\boldsymbol{p}} &= -\boldsymbol{Q}\boldsymbol{x} - \boldsymbol{A}^T\boldsymbol{p} \end{aligned}\right\} \qquad (1.3)$$

mit den Randwerten $\boldsymbol{x}(t_0) = \boldsymbol{x}_0$ und $\boldsymbol{x}(t_e) = \boldsymbol{x}_e$ (fester Randwert) bzw. $\boldsymbol{x}(t_0) = \boldsymbol{x}_0$ und $\boldsymbol{p}(t_e) = \boldsymbol{F}\boldsymbol{x}(t_e)$ (freier Randwert).

Mit dem n-dimensionalen Kozustandsvektor $\boldsymbol{p}(t)$ kann die optimale Steuerung durch $\boldsymbol{u} = \boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{p}$ berechnet werden. Die direkte Berechnung von $\boldsymbol{x}(t)$ und $\boldsymbol{p}(t)$ durch Integration ist wegen der Instabilität des Differentialgleichungssystems (DGS) (1.3) oft unmöglich. Vom regelungstechnischen Standpunkt ist außerdem die Darstellung der Steuerung $\boldsymbol{u}$ als Funktion des Zustandes in der Form $\boldsymbol{u} = \boldsymbol{N}\boldsymbol{x}$ günstiger (Rückkoppelung). Im Fall des freien Randwertes existiert eine derartige Darstellung mit $\boldsymbol{N} = -\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{K}$, wobei $\boldsymbol{K}$ der Matrix-Riccati-Differentialgleichung (MRDG)

$$\dot{\boldsymbol{K}} = -\boldsymbol{K}\boldsymbol{A} - \boldsymbol{A}^T\boldsymbol{K} + \boldsymbol{K}\boldsymbol{B}\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{K} - \boldsymbol{Q}\,, \qquad \boldsymbol{K}(t_e) = \boldsymbol{F} \qquad (1.4)$$

genügt, die in verkehrter Zeitrichtung über $[t_0, t_e]$ zu lösen ist (siehe z. B. [1]).

Für den festen Randwert enthält diese gewünschte Rückkoppelung noch einen additiven Anteil („sweep method", siehe [6]):

$$\boldsymbol{u} = \boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{K}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{L}\boldsymbol{p}_e\,.$$

$\boldsymbol{K}$ genügt der MRDG (1.4), allerdings mit $\boldsymbol{K}(t_e) = \boldsymbol{0}_n$. Zusätzlich sind lineare Matrixdifferentialgleichungen (MDG)

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{L}} &= (-\boldsymbol{A}^T + \boldsymbol{K}\boldsymbol{B}\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T)\,\boldsymbol{L} \qquad \boldsymbol{L}(t_e) = \boldsymbol{E}_n \\ \dot{\boldsymbol{M}} &= \boldsymbol{L}^T\boldsymbol{B}\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{L} \qquad \boldsymbol{M}(t_e) = \boldsymbol{0}_n \end{aligned}\right\} \qquad (1.5)$$

zu lösen, um aus der Beziehung

$$\boldsymbol{p}(t_0) = \boldsymbol{K}(t_0)\,\boldsymbol{x}_0 + \boldsymbol{L}(t_0)\,\boldsymbol{p}(t_e)\,,$$
$$\boldsymbol{x}_e = \boldsymbol{L}^T(t_0)\,\boldsymbol{x}_0 - \boldsymbol{M}(t_0)\,\boldsymbol{p}(t_0)\,,$$

den unbekannten Vektor $\boldsymbol{p}(t_e) = \boldsymbol{p}_e$ berechnen zu können. Eine Änderung der Randwerte oder/und der Endzeit erfordern allerdings eine neuerliche Berechnung der MRDG (1.4), da diese von den Randwerten und der Endzeit t_e abhängt.

Außerdem muß die MRDG (1.4) nicht unbedingt stabil sein. Ihr Stabilitätsverhalten wird, da sie in verkehrter Zeitrichtung zu lösen ist, hauptsächlich von den Eigenwerten der Matrix $\boldsymbol{S} = \boldsymbol{A} + \boldsymbol{A}^T$ bestimmt [8].

2. Lösung mit invariantem Einbetten

Eine weitere Möglichkeit, das Optimierungsproblem der Gln. (1.1) und (1.2) zu lösen, besteht darin, die instabile RWA (1.3) durch stabile „Ersatzdifferentialgleichungen" zu lösen. Die Methode des invarianten Einbettens [2] kann nach einer geeigneten Erweiterung [3] bis [5] hier zielführend angewendet werden. Im wesentlichen werden dabei Zustands- und Kozustandsgleichung (1.4) als System charakteristischer Differentialgleichungen einer partiellen Differentialgleichung (PD) $\tilde{\boldsymbol{x}} = \tilde{\boldsymbol{x}}(t, \tilde{\boldsymbol{p}})$ aufgefaßt. Diese PD hat Lösungen der Form $\tilde{\boldsymbol{x}} = \tilde{\boldsymbol{W}}(t)\,\tilde{\boldsymbol{p}}$, die der Beziehung

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{x}(t) &= \boldsymbol{W}(t)\,\boldsymbol{p}(t) + \boldsymbol{G}(t)\,\boldsymbol{x}_0\,, \\ \boldsymbol{p}(t_0) &= \boldsymbol{G}^T(t)\,\boldsymbol{p}(t) - \boldsymbol{H}(t)\,\boldsymbol{x}_0 \end{aligned}\right\} \qquad (2.1)$$

äquivalent ist. $\boldsymbol{W}(t)$, $\boldsymbol{G}(t)$ und $\boldsymbol{H}(t)$ genügen den MDGn

$$\dot{\boldsymbol{W}} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{W} + \boldsymbol{W}\boldsymbol{A}^T + \boldsymbol{W}\boldsymbol{Q}\boldsymbol{W} - \boldsymbol{B}\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\,, \qquad \boldsymbol{W}(t_0) = \boldsymbol{0}_n \qquad (2.2\,\mathrm{a})$$

$$\dot{\boldsymbol{G}} = (\boldsymbol{A} + \boldsymbol{W}\boldsymbol{Q})\,\boldsymbol{G}\,, \qquad \boldsymbol{G}(t_0) = \boldsymbol{E}_n\,, \qquad (2.2\,\mathrm{b})$$

$$\dot{\boldsymbol{H}} = -\boldsymbol{G}^T\boldsymbol{Q}\boldsymbol{G}\,, \qquad \boldsymbol{H}(t_0) = \boldsymbol{0}_n\,. \qquad (2.2\,\mathrm{c})$$

Diese MDGn — $\boldsymbol{G}$ ist linear, $\boldsymbol{F}$ kann durch Quadratur berechnet werden — müssen nun nur einmal „off-line" über einem Zeitintervall $[t_0, T_e]$ maximal interessierender Länge gelöst und abgespeichert werden. Sie sind unabhängig von den Randwerten und der Endzeit t_e. Soll nun das System von einem Anfangszustand $\boldsymbol{x}_0$ in der Zeit $t_e - t_0$, $t_e \leqq T_e$ in einen Endzustand $\boldsymbol{x}_e$ oder gegen die Ruhelage gesteuert werden, so können mit Hilfe der berechneten Matrizen $\boldsymbol{W}$, $\boldsymbol{G}$ und $\boldsymbol{F}$ und der Gleichung

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{x}_e &= \boldsymbol{W}(t_e)\,\boldsymbol{p}(t_e) + \boldsymbol{G}(t_e)\,\boldsymbol{x}_0\,, \\ \boldsymbol{p}(t_0) &= \boldsymbol{G}^T(t_0)\,\boldsymbol{p}(t_e) - \boldsymbol{H}(t_e)\,\boldsymbol{x}_0 \end{aligned}\right\} \qquad (2.3)$$

(im Falle des freien Randwertes zusätzlich $\boldsymbol{p}(t_0) = \boldsymbol{F}\boldsymbol{x}(t_e)$) die unbekannten Randwerte $\boldsymbol{p}(t_0)$ und $\boldsymbol{p}(t_e)$ ($\boldsymbol{x}(t_e)$, $\boldsymbol{p}(t_0)$ und $\boldsymbol{p}(t_e)$) berechnet werden (Auflösung des $2n$-dimensionalen linearen Gleichungssystemes (2.3)).

Gleichung (2.3) wird aus Gl. (2.1) abgeleitet, indem $t = t_e$ gesetzt wird.

Da nun vor allem $\boldsymbol{p}(t_0)$ bekannt ist, stellt Gl. (2.1) ein $2n$-dimensionales lineares Gleichungssystem für die unbekannten Vektoren $\boldsymbol{x}(t)$ und $\boldsymbol{p}(t)$ für jeden beliebigen Zeitpunkt t (t_0, t_e) dar, woraus dann (punktweise) die optimale Steuerung $\boldsymbol{u}$ durch $\boldsymbol{u} = \boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{p}$ berechnet wird.

Ändern sich die Anfangs- und Endzustände und/oder die Endzeit t_e, so müssen nur lineare Gleichungssysteme gelöst werden („on-line"-Berechnung), um die optimale Steuerung zu erhalten. Es ist **keine** neuerliche Integration nötig.

Die Lösung der MDGn für $\boldsymbol{W}$, $\boldsymbol{G}$ und $\boldsymbol{H}$ muß nur **einmal** mit hinreichender Genauigkeit berechnet und an genügend vielen Zeitpunkten abgespeichert werden. Schwierigkeiten treten auf, wenn die MRDG (2.2a) instabil ist (wird durch $\boldsymbol{S} = \boldsymbol{A} + \boldsymbol{A}^T$ bestimmt). In diesem Fall bietet sich die Vertauschung von Zustands- und Kozustandsgleichung in Gl. (1.4) an, worauf nun Gl. (1.4) als System charakteristischer Gleichungen für eine PD $\tilde{\boldsymbol{p}} = \tilde{\boldsymbol{p}}(t, \tilde{\boldsymbol{p}})$ aufzufassen ist. Für diese PD existieren nun Lösungen der Form $\tilde{\boldsymbol{p}} = \bar{\boldsymbol{W}}(t)\,\tilde{\boldsymbol{x}}$, was den Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{p}(t) &= \bar{\boldsymbol{W}}(t)\,\boldsymbol{x}(t) + \bar{\boldsymbol{G}}(t)\,\boldsymbol{p}(t_0)\,, \\ \boldsymbol{x}_0 &= \bar{\boldsymbol{G}}^T(t)\,\boldsymbol{x}(t) - \bar{\boldsymbol{H}}(t)\,\boldsymbol{p}(t_0) \end{aligned}\right\} \qquad (2.4)$$

äquivalent ist („duales Einbetten"). $\bar{\boldsymbol{W}}(t)$, $\bar{\boldsymbol{G}}(t)$ und $\bar{\boldsymbol{H}}(t)$ genügen den MDGn

$$\dot{\bar{\boldsymbol{W}}} = -\boldsymbol{A}^T\bar{\boldsymbol{W}} - \bar{\boldsymbol{W}}\boldsymbol{A} + \bar{\boldsymbol{W}}\boldsymbol{B}\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\bar{\boldsymbol{W}} - \boldsymbol{Q}\,, \quad \boldsymbol{W}(t_0) = \boldsymbol{Q}_n\,, \qquad (2.5\,\mathrm{a})$$

$$\dot{\bar{\boldsymbol{G}}} = (-\boldsymbol{A}^T + \bar{\boldsymbol{W}}\boldsymbol{B}\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T)\,\bar{\boldsymbol{G}}\,, \qquad \bar{\boldsymbol{G}}(t_0) = \boldsymbol{E}_n\,, \qquad (2.5\,\mathrm{b})$$

$$\dot{\bar{\boldsymbol{H}}} = -\boldsymbol{G}^T\boldsymbol{B}\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{G}\,, \qquad \bar{\boldsymbol{H}}(t_0) = \boldsymbol{Q}_n\,. \qquad (2.5\,\mathrm{c})$$

Die Stabilität der MRDG (2.5a) wird hauptsächlich von $\bar{\boldsymbol{S}} = -\boldsymbol{A}^T - \boldsymbol{A} = -\boldsymbol{S}$ bestimmt, weswegen ihr Stabilitätsverhalten konträr zu dem der MRDG (2.2a) ist.

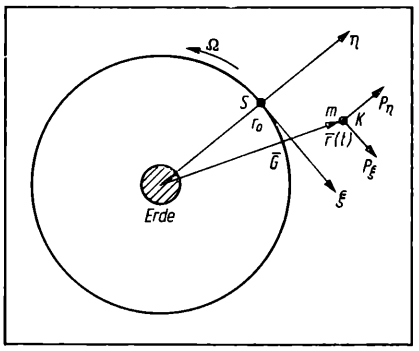


Bild 1. Andockmanöver
K Raumkapsel;
S Raumstation

Sind $\bar{\boldsymbol{W}}(t)$, $\bar{\boldsymbol{G}}(t)$, $\bar{\boldsymbol{H}}(t)$ über $[t_0, T_e]$ bekannt, so können nun aus

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{p}(t_0) &= \bar{\boldsymbol{W}}(t_e)\,\boldsymbol{x}_e + \bar{\boldsymbol{G}}(t_e)\,\boldsymbol{p}(t_0)\,, \\ \boldsymbol{x}_0 &= \bar{\boldsymbol{G}}^T(t_e)\,\boldsymbol{x}_e - \bar{\boldsymbol{H}}(t_e)\,\boldsymbol{p}(t_0)\,, \\ &(\boldsymbol{p}(t_e) = \boldsymbol{F}\boldsymbol{x}(t_e)) \end{aligned}\right\} \tag{2.6}$$

wiederum $\boldsymbol{p}(t_0)$ und $\boldsymbol{p}(t_e)$ ($\boldsymbol{x}(t_e)$, $\boldsymbol{p}(t_0)$ und $\boldsymbol{p}(t_e)$) für die aktuellen Daten $\boldsymbol{x}_0$, $\boldsymbol{x}_e$, $t_e(\boldsymbol{x}_0, \boldsymbol{F}, t_e)$ berechnet werden (wie in Gl. (2.3)).
Nun erlaubt Gl. (2.4) die (punktweise) Berechnung von $\boldsymbol{x}(t)$, $\boldsymbol{p}(t)$ und $\boldsymbol{u}(t)$ für jeden Zeitpunkt $t \in (t_0, t_e)$.

3. Zusammenfassung

Der vorgeschlagene Algorithmus — erweitertes (duales) invariantes Einbetten — zur Berechnung der optimalen Steuerung besteht aus folgenden Schritten:

1. Lösung und Abspeicherung der MDGn (2.2) ($\boldsymbol{W}, \boldsymbol{G}, \boldsymbol{H}$) oder Gl. (2.5) ($\bar{\boldsymbol{W}}, \bar{\boldsymbol{G}}, \bar{\boldsymbol{H}}$) über einem Zeitintervall $[t_0, T_e]$ maximal interessierender Länge — „off-line"-Berechnung
2. a) Lösung der linearen Gleichungssysteme (2.3) oder (2.6) zur Berechnung der unbekannten Anfangs- und End(ko)-zustände
   b) Punktweise Ermittlung der Steuerung $\boldsymbol{u}$ (und des Zustandes $\boldsymbol{x}$) durch Auflösung der linearen Gleichungssysteme (2.1) oder (2.4) — "on-line"-Berechnung.

Im Vergleich zu den in Abschnitt 1. angegebenen Verfahren bietet das erweiterte (duale) invariante Einbetten folgende Vorteile:

— Die MDGn müssen nur einmal „off-line" gelöst werden, da sie weder von den Anfangs- und Endzuständen noch von einer festen Endzeit abhängen. Die Lösungen können z. B. auf einem Großrechner mit hinreichender Genauigkeit an genügend vielen Stützpunkten „off-line" ermittelt werden.
— Es besteht die Möglichkeit der Auswahl zwischen zwei verschiedenen MRDGn mit konträrem Stabilitätsverhalten, so daß üblicherweise immer eine stabile Integration erfolgen kann.
— Die optimale Steuerung von einem Anfangszustand in einen Endzustand bzw. von einer Anfangsauslenkung gegen die Ruhelage in einer vorgegebenen Zeit wird durch Auflösen linearer Gleichungssysteme berechnet, was (durchaus auf einem Kleinrechner) „on-line" erfolgen kann.
— Ändern sich Anfangs- und Endzustände und/oder die Endzeit, so müssen nur lineare Gleichungssysteme erneut gelöst werden.

4. Beispiele

Ein Anwendungsbeispiel für erweitertes duales invariantes Einbetten ist die energieminimale Steuerung des Andockmanövers einer Raumkapsel an eine Raumstation (Bild 1). Die Relativbewegung $\xi(t)$ und $\eta(t)$ zwischen Station und Kapsel genügen nichtlinearen Differentialgleichungen [10]. Nach Linearisierung und geeigneten Transformationen ergibt sich die dimensionslose Zustandsraumdarstellung $\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}$ mit

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \boldsymbol{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{u}\,,$$

wobei $\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4)^T$ im wesentlichen $(\xi, \dot{\xi}, \eta, \dot{\eta})^T$ entspricht. Da die Relativbewegungen am Ende des Manövers **exakt** 0 sein

Bild 4. Andockbahn

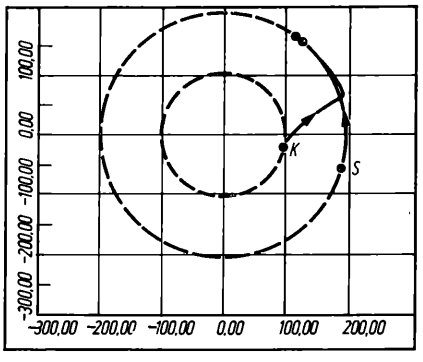


Bild 5. Andockbahn

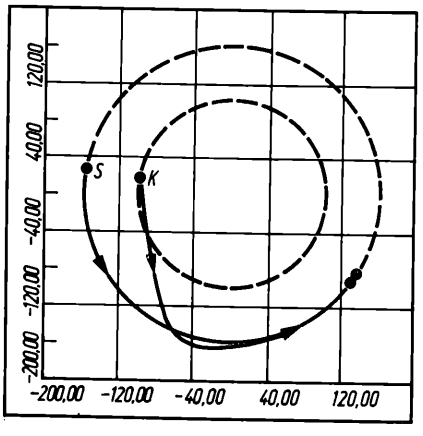


Bild 2. Lösung der MDGn $\bar{W}$, $\bar{G}$ (normiert)

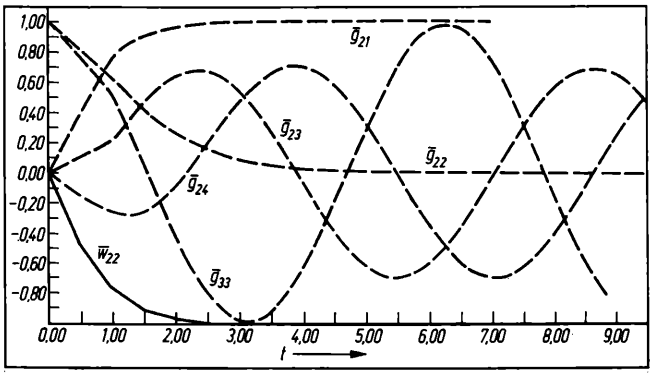
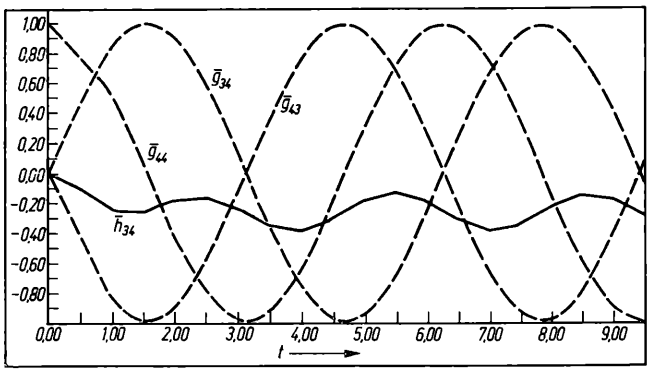


Bild 3. Lösung der MDGn $\bar{G}$, $\bar{H}$ (normiert)



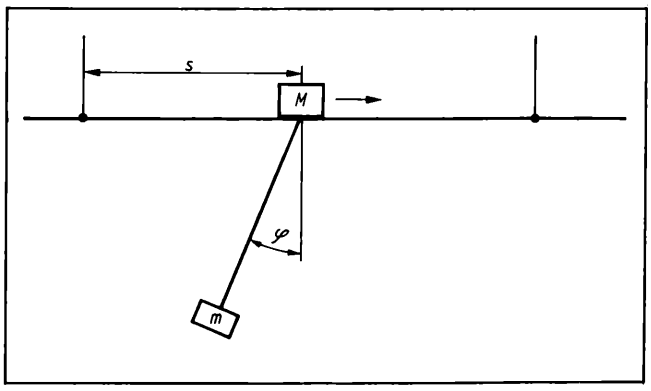


Bild 6. Modell des Erzentladers

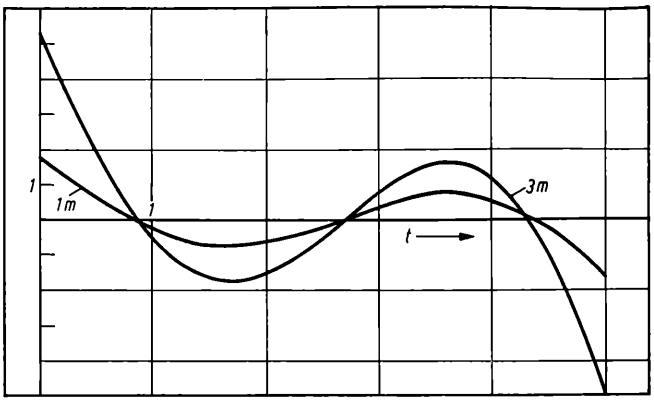


Bild 8. Optimale Steuerung $u(t)$ (normiert)

müssen, liegt ein Problem mit festem Randwert vor: $\boldsymbol{x}(0) = \boldsymbol{x}_0$, $\boldsymbol{x}(t_e) = \boldsymbol{o}_4$. Soll nur die Beschleunigung beschränkt werden, so ergeben sich für die Gewichtungsmatrizen des Gütefunktionals $\boldsymbol{R} = \boldsymbol{E}_1 = 1$ und $\boldsymbol{Q} = (q_{ij})$ mit $q_{ij} = 0$ $(i, j = 1(1)4)$ außer $q_{22} = 1$.

Die Form der Matrix $\boldsymbol{A}$ läßt keine A-priori-Entscheidung zwischen den MRDGn (2.2a) oder (2.5a) zu. Als günstig erweist sich die Wahl der MRDG für $\overline{\boldsymbol{W}}$ nach Gl. (2.5a), da nur $\overline{w}_{22}(t)$ nicht identisch 0 ist; ähnliches gilt für $\overline{\boldsymbol{H}}$, nur $\overline{h}_{34}(t)$ ist nicht identisch 0 [4]. Die Bilder 2 und 3 zeigen die Lösungen der MDGn $\overline{\boldsymbol{W}}$, $\overline{\boldsymbol{G}}$ und $\overline{\boldsymbol{H}}$, die „off-line" über einem genügend langen Zeitintervall berechnet und abgespeichert werden. Die Bilder 4 und 5 zeigen die Andockbahnen zu verschiedenen Andockzeiten, die nur mehr durch Lösung linearer Gleichungssysteme berechnet werden müssen.

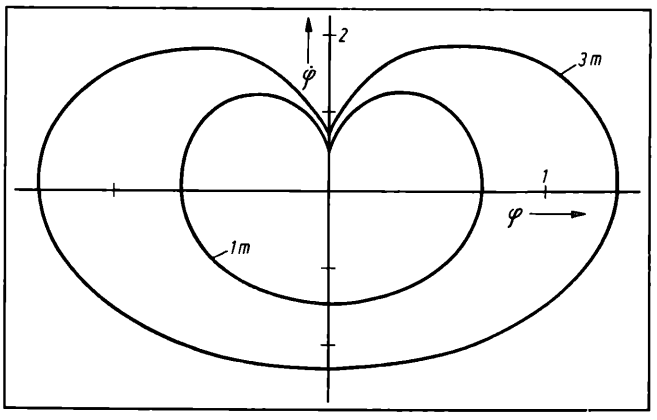
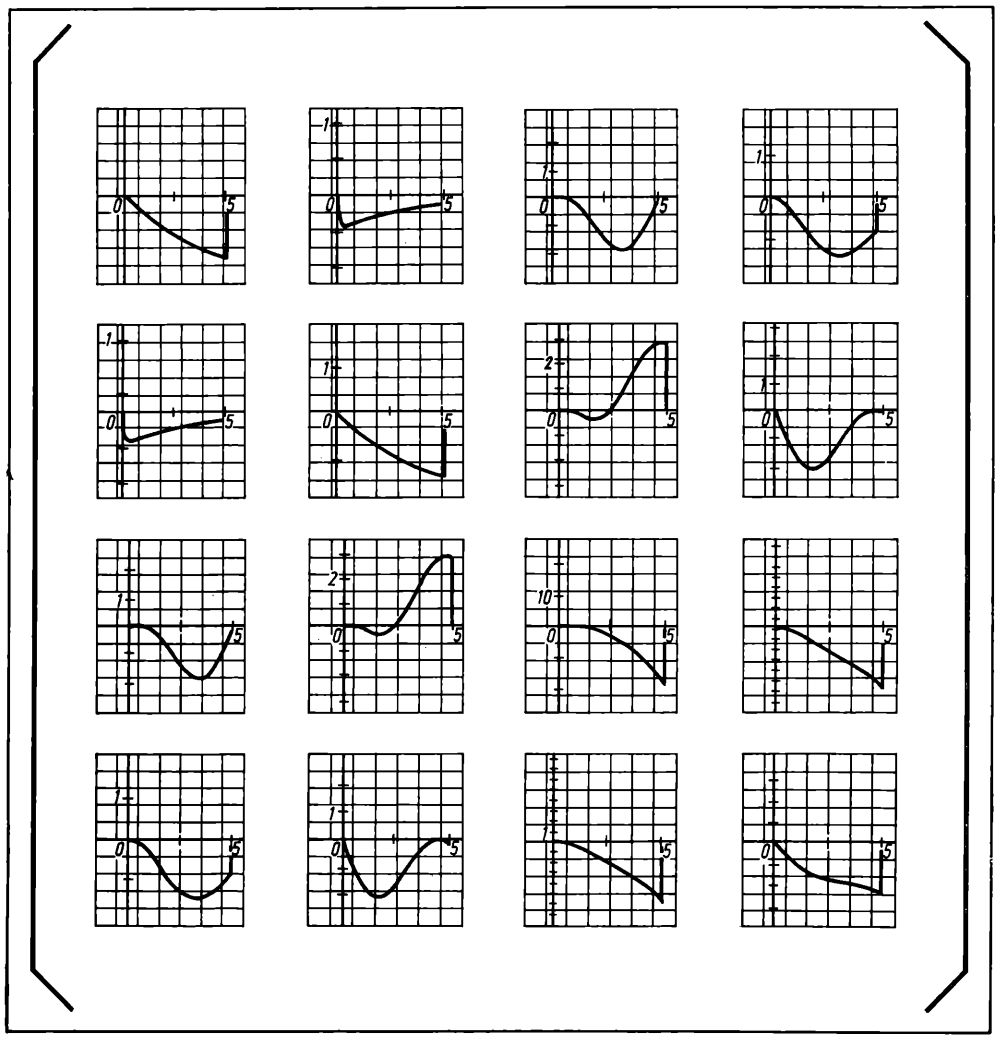


Bild 9. Phasenbild des Greifers (normiert)



◀ Bild 7. Lösung der MRDG $W(t)$

Ein weiteres Beispiel ist die energieminimale Steuerung eines Erzentladers (Bild 6). Nach [7] lauten die Bewegungsgleichungen nach Linearisation und Transformation in Zustandsraumdarstellung $\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}$ mit

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & -0.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -0{,}4 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \boldsymbol{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \boldsymbol{u} ,$$

wobei $\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4)^T$ im wesentlichen $(\varphi, \dot{\varphi}, s, \dot{s})^T$ ist. Laufkatze und Greifer sollen vom Anfangszustand $(0, 0, 0, 0)^T$ in einen festen Endzustand $(0, 0, s_e, 0)^T$ übergeführt werden. Werden die Zustände keiner Beschränkung unterworfen ($\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{o}_4$) und $\boldsymbol{R} = 1$ gewählt, so wird die MRDG (2.3 a) besonders einfach: sie ist linear. Bild 7 zeigt die Lösung der MRDG (2.3 a) für $\boldsymbol{W}$, die nur **einmal** berechnet werden muß.

Die Bilder 8 und 9 zeigen die Steuerfunktion u und das Phasenbild des Greifers für den Weg von 1 m bzw. 3 m. Für die verschiedenen Endpunkte müssen wiederum nur mehr lineare Gleichungssysteme gelöst werden.

Literatur

[1] *Athans, M.; Falb, P. L.:* Optimal Control. New York: McGraw-Hill 1966.
[2] *Bellman, R.; Wing, G. M.:* An Introduction to Invariant Imbedding. New York: J. Wiley & Sons 1975.
[3] *Breitenecker, F.:* Zur Dualität von Riccati-Ansatz und Invariantem Einbetten bei Problemen des Optimal Control. Diplomarbeit. Technische Universität Wien 1976.
[4] *Breitenecker, F.:* Erweitertes Invariantes Einbetten zur Lösung von Linearen Randwertproblemen. Dissertation. Technische Universität Wien 1979.
[5] *Breitenecker, F.:* On the Solution of Linear Boundary Value Problems by Extended Invariant Imbedding. Computing (1982). In Vorbereitung.
[6] *Bryson, A. E.; Ho, Y.:* Applied Optimal Control. Waltham/Mass.: Ginn & Company 1969.
[7] *Hippe, H.:* Zeitoptimale Steuerung eines Erzentladers. Regeltechnik und Prozeßdatenverarbeitung 18 (1970) H. 8, S. 346.
[8] *Meyer, G. H.:* Initial Value Methods for Boundary Value Problems. New York: Academic Press 1973.
[9] *Pontryagin, L. S.; Boltjanskij, V. G.; Gamkrelidze, R. V.; Mischenko, E. F:* Mathematische Theorie Optimaler Prozesse. München: R. Oldenburg 1964.
[10] *Sagirow, P.:* Satellitendynamik. Mannheim/Wien/Zürich: Bibliographisches Institut 1970.

msr 7635

Dipl.-Ing. *E. Liß*, Karl-Marx-Stadt

Lernender Homöostat zur Demonstration adaptiver Steuerungen mit künstlichem Intellekt

IA 2.5.; 6.2.

0. Einleitung

In jüngster Zeit sind auf Forschungsgebieten der Wissenschaftsdisziplinen Bionik, Biokybernetik und besonders künstliche Intelligenz [28] international verstärkte Anstrengungen zwecks Entwicklung von Gehirnmodellen für technische Anwendungen feststellbar.

Durch moderne Technologien der Mikroelektronik sind Einrichtungen zur Objekterkennung, Spracheingabe, Sprachausgabe und Sprachübersetzung [23] sowie große Logik- bzw. Prozessorkomplexe mit Eingabe/Ausgabe-Einheiten (möglichst auf einem Chip vereint) zukünftig noch ökonomischer und volumensparender als bisher realisierbar [24].

Für bestimmte Anwendungen sind Spezialprozessoren (z. B. Boolesche Prozessoren), programmierbare Logik- und Zuordnungskomplexe, lernfähige Zuordner oder Klassifikatoren und auch Assoziativspeicher in hochintegrierter Technologie herstellbar. Mit speziellen Programmiersprachen werden in zunehmendem Maße „intelligente" Computerprogramme zur Darstellung von Wissen und zur situationsabhängigen Entscheidungsfindung entwickelt (z. B. Produktionssysteme [28] und LISP-Computer). Mit Programmen zur Modellierung semantischer Netze wurden bereits große ökonomische Effekte erreicht [29].

Bei der Erforschung der Struktur- und Funktionsprinzipien des Zentralnervensystems (ZNS) höherer Organismen sind beachtliche Fortschritte zu verzeichnen. Durch verstärkte interdisziplinäre Arbeiten seitens der Wissenschaftsdisziplinen Neurobiologie, Psychologie, Physiologie, Bionik, Kybernetik und Künstliche Intelligenz wurden zahlreiche Hypothesen über bestimmte Struktur- und Funktionsprinzipien des Gehirns aufgestellt. Theoretische und technische Modelle sind für eingeschränkte Aufgabenstellungen auf der Basis dieser Hypothesen erarbeitet worden [2] [7] [8] [14] bis [17] [20] bis [22] und [27] bis [29].

Die Informationsdarstellung, -verarbeitung und -speicherung in Neuronennetzen des ZNS haben wenig Gemeinsamkeiten mit den konventionellen, programmgesteuerten Prozessen in Computern [5] und [8].

Herausragende Besonderheiten des ZNS sind beispielsweise folgende Phänomene: unbewußtes und bewußtes (bzw. sprachliches) Denken, Intelligenz und Intellekt (Vernunft bzw. Verstand), Kurz- und Langzeitgedächtnis, parallele Informationsaufnahme, -reduktion, -verarbeitung und -speicherung, Selbstorganisierung, funktionelle Erweiterbarkeit durch Änderbarkeit der „lernfähigen" Struktur, Homöostase (Ultrastabilität), Adaptionsvermögen zur Aufrechterhaltung der Homöostase und Mehrfachfunktionscharakter der neuronalen Struktur des Gedächtnisses aufgrund der Vereinigung von Funktionen der verteilten Speicherung und der logischen Verarbeitung in der „intelligenten" lernfähigen Struktur (keine Trennung von körperlichem Speicher und Prozessor).

Das Hauptproblem bei der Erforschung der Struktur- und Funktionsprinzipien des menschlichen ZNS durch den Menschen selbst besteht in der Bildung von Modellen seines eigenen Gedächtnisses in seinem Gedächtnis (und auf externen Informationsspeichern) im Verlauf des Erkenntnisprozesses. Der Mensch kann aufgrund der strukturellen Lernfähigkeit seines Gedächtnisses erfahrungsabhängige sensuelle und rationale Erkenntnisse erlangen, so daß seine begrifflichen Modelle der Außenwelt durch Kenntniserwerb geändert und verbessert werden können [6] und [12]. Mit Hilfe seines sprachlichen Bewußtseins ist er in der Lage, seine semantischen Begriffsnetze als Modelle syntaktisch mit korrelierten Invarianten zu definieren und praktisch zu erproben. Diese Fähigkeiten des Menschen und die Tatsache, daß die Struktur- und Funktionsprinzipien des menschlichen Gehirns denen verwandter Tierarten weithin gleichen [3], ermöglichen die Erforschung und kybernetische Modellierung von Gehirnstrukturen mit Intellekt [3] [4] [10] und [13]. Unter dem Aspekt der algorithmischen Modellierbarkeit definieren wir „Intellekt" als die Fähigkeit zum algorithmierbaren Verstehen und Aufgabenlösen, d. h. als „begrenzte Intelligenz" [10] [22] und [30].

Von der technischen Modellierung intelligenter logischer Strukturen mit adaptiver Entscheidungsfähigkeit wird auf verschiedensten Anwendungsgebieten gesellschaftlicher Nutzen erwartet [19] [25] [28] und [29].

Seit langem angestrebtes Ziel ist die Entwicklung intelligenter und lernfähiger Automaten [8] und [9]. In neuerer Zeit werden adaptive Prozeß-, Maschinen- und Robotersteuerungen mit künstlichem Intellekt zur Sensorsignalverarbeitung, z. B. für Roboter der dritten Generation [25], prognostiziert. Weitere „revolutionierende" Anwendungen von kybernetischen Modellen intelligenter logischer Strukturen werden durch Modellierung von semantischen Netzen (bzw. assoziativen Netzen oder kausalen Begriffsnetzen) mit dargestelltem Wissen zur Entscheidungsfindung im Mensch-Maschine-Dialog möglich sein [29].

Im folgenden wird ein kurzer Abriß einiger aus interdisziplinären Untersuchungen resultierender Definitionen und Thesen gegeben, die als Arbeitshypothesen für die Entwicklung eines lernenden Homöostaten zur Demonstration adaptiver Steuerungen mit künstlichem Intellekt dienten. Die Basis bildete ein vom Autor definierter „Intelligenter Automat", der ein adaptives System mit Gedächtnis modelliert, das eine modifizierbare logische Struktur mit Speicher- und Verarbeitungsfunktionen hat.

Wesentliche Struktur- und Funktionsprinzipien des intelligenten Automaten wurden in Patentschriften des Autors seit 1978 veröffentlicht [22].

1. Lernender Homöostat und Intelligenter Automat mit struktureller Lernfähigkeit

Für die dynamische Stabilität von Prozessen in lebenden Organismen wurde im Jahre 1942 von *Cannon* der Begriff der Homöostase eingeführt. Jeder Vorgang der Adaption (Anpassung) eines Subjekts an (für dieses) neue Situationseigenschaften seiner Umwelt besteht in der Aufrechterhaltung der Homöostase, besonders durch Lernprozesse des Subjekts [5].

Im Jahre 1948 hat *Ashby* ein technisches Modell angegeben, das die Eigenschaften eines „ultrastabilen" Systems mit Homöostase hat. Er nannte sein Modell Homöostat. Dieser Homöostat besaß aber kein flexibles Adaptionsvermögen (Adaptivität), weil ihm das für den Lernvorgang typische Gedächtnis fehlte [9].

Die neuronale „logische" Struktur des Gehirns zur Gewährleistung von Adaptionsvermögen und Intellekt soll als denkendes Gedächtnis definiert werden, das die verteilte strukturelle Speicherung von Kenntnissen und Fertigkeiten sowie die logische Verarbeitung sensorischer Signale bestimmt [5]. Ein adaptives System mit Gedächtnis wird durch einen vom Autor definierten Intelligenten Automaten modelliert. Der Intelligente Automat ist sowohl als Hierarchie von miteinander gekoppelten Zuordnungsniveaus oder Zuordnungskomplexen oder als Netz von gekoppelten Zuordnungs- bzw. Verknüpfungseinheiten mit bedingt modifizierbaren logischen Funktionen zur Invariantenbildung darstellbar [22]. Jede Verknüpfungseinheit kann im Unterschied zu zellularen Systemen mit prinzipiell allen anderen Verknüpfungseinheiten über konvergierende und divergierende Beziehungen verbunden sein [26] und [27].

Das Modell eines adaptiven Systems implementiert situationsabhängig folgende in wechselseitigem Zusammenhang stehende Hauptprozesse des Intelligenten Automaten zwecks Steuerung „intelligenten" Verhaltens: das Erkennen, Beurteilen, Bewerten und Entscheiden [3] [4] [11] [13] und [22]. Die Operationen der Informationsverarbeitung im Intelligenten Automaten sind vernetzte logische Verknüpfungen zur Verifikation von Invarianten sowie feste und bedingte Zuordnungen von verifizierten Invarianten bzw. Wertetupeln (d. h. Abbildungen), analog den Grundprozessen des logischen Denkens: Analyse, Synthese, Vergleich, Abstraktion und Verallgemeinerung, in Verbindung mit Kenntniserwerb und induktivem und/oder deduktivem Schließen durch Assoziieren, sowohl „veranlagt" als auch „aus Erfahrung" [7] [9] [12] [13] und [22].

Der Intelligente Automat, gekoppelt mit Rezeptoren bzw. Sensoren (z. B. über Klassifikatoren) und mit Effektoren (z. B. über einen Aktionskomplex), hat den Charakter eines lernenden Homöostaten.

Ein lernender Homöostat mit Intellekt zeigt situationsangepaßtes, „intelligentes" Verhalten zum Zwecke der Erhaltung und möglicherweise Verbesserung seines Stabilisierungsvermögens. Das gilt besonders für die Aufrechterhaltung notwendiger interner Bedingungen oder lebenswichtiger Größen bzw. zur bestmöglichen Befriedigung seiner Bedürfnisse. Seine aktuellen subjektiven Zielsetzungen werden von variablen (subjektiven) Urteilen und Bewertungen (z. B. Antrieben und Motivationen) als situationsabhängige Führungsgrößen (für die Regelvorgänge) abhängig von erfahrungsgemäßen Voraussagen bestimmt.

Im Intelligenten Automaten führen Änderungen von Situationseigenschaften infolge des Bewertens von erkannten invarianten Merkmalen der externen und internen Situation zu adäquaten Änderungen der internen Verarbeitung der Erkennungsergebnisse, bezogen auf sensorische Informationsdarstellungen.

Die Voraussetzung für flexibles Adaptionsvermögen (nichtstarre Einstellung) ist die Fähigkeit zum Erwerb von Kenntnissen (bzw. Fertigkeiten) und, damit verbunden, zur Modellbildung durch die modifizierbare Struktur des Gedächtnisses [6].

Abhängig vom Kenntniserwerb durch Konditionierungen in der Vorgeschichte werden wie beim Lesen aus einem Erfahrungs- oder Assoziativspeicher mit ausgewählten Schlüsselinformationen assoziierte Informationen als Voraussagen (Prädiktionen) „aus Erfahrung" für logische Schlüsse erzeugt [7] (vgl. Afferenzsynthese in [1] und [3]). Dieses „Assoziieren aus Erfahrung" ermöglicht die flexible Adaption durch Lernen.

Störungen des homöostatischen Systems können durch situationsangepaßtes Entscheiden infolge des Bewertens voraussichtlicher Konsequenzen von vornherein vermieden oder durch Vergleich von assoziierten Erwartungen mit tatsächlichen Konsequenzen (z. B. Effekt der Aktion) erkannt und ausgeglichen werden [1] [3] und [5]. In Fällen großen „Motivdrucks" durch den Antrieb oder gut bewertete assoziierte Voraussagen ist die versuchsweise Änderung bzw. Ausnutzung der Situation zum Erreichen von subjektiven Vorteilen möglich (analog der Methode „Versuch und Irrtum" und dem Effektgesetz von *Thorndike*).

Jede auf Erfahrung und Informationsverarbeitung beruhende Verhaltensänderung kann, allgemein gesehen, als Lernen aufgefaßt werden [5].

Nach *Sinz* ist Lernen „eine der Individual- und Arterhaltung dienende antriebsgesteuerte und situationsangepaßte Verhaltensänderung als Folge individueller Informationsaufnahme, -verarbeitung und -speicherung auf der Grundlage stammesgeschichtlich vorgebildeter neuronaler Strukturen" [5] und [11].

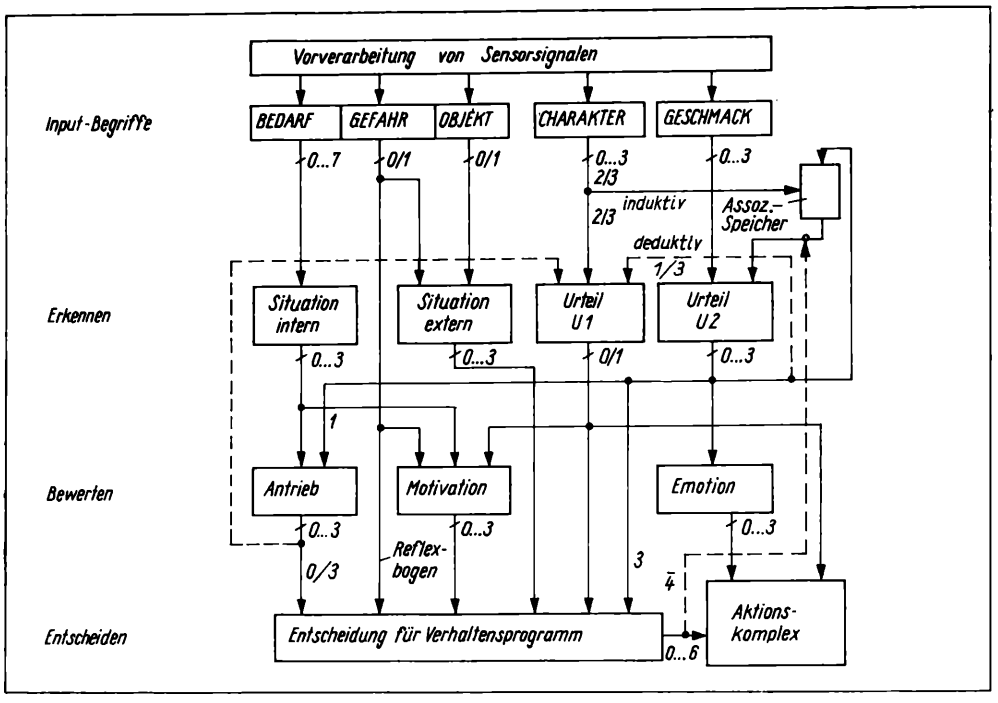
Vom Autor wird folgende These vertreten: Das Lernen beruht auf der Struktur- und Funktionsänderung des Gedächtnisses eines Subjekts unter inneren Bedingungen während der Informationsverarbeitung. Deshalb nennen wir den Grundprozeß des Lernens „strukturelles Lernen".

Der Kenntniserwerb führt zum „strukturellen Speichern" von erfaßten, d. h. „gelernten", Kausalitätsbeziehungen zwischen Invarianten zur Darstellung von korrelierten Informationen bzw. Begriffen aufgrund der Erweiterungs- bzw. Änderungsfähigkeit der „logischen" Struktur des Gedächtnisses. Disjunkte gelernte Beziehungen über aufgebaute Verbindungen bilden die Grundvoraussetzungen für das Assoziieren aus Erfahrung.

Die auf Kenntniserwerb beruhenden Lernformen „bedingter Reflex", „bedingte Reaktion", „bedingte Aktion" und auch „Lernen durch Einsicht" [5] lassen sich nach Auffassung des Autors auf strukturelles Lernen zurückführen.

Als elementarer Prozeß des strukturellen Lernens soll der Aufbau bzw. Abbau einer „lernbaren" (d. h. aufbau- bzw. abbaubaren) Kausalitätsbeziehung zwischen verifizierbaren Invarianten für Stützinformationen einer „lernfähigen" logischen Struktur definiert werden. Als Bedingung hierfür gilt die einmalige

Bild. Wirkungsschema des realisierten Modells „lernender Homöostat"



oder mehrmalige Koinzidenz (bzw. zeitliche Kontiguität, d. h. das quasigleichzeitige Zusammentreffen) der Signalereignisse der verifizierten Invarianten für die aufeinander beziehbaren Stützinformationen bzw. Begriffe. Als Kriterien für das Herstellen bzw. Zerstören einer Verbindung (Assoziation) sind verschiedene Schwellwerte der bedingten Wahrscheinlichkeit (oder relativen Häufigkeit) des Ereignisses derjenigen Information definierbar, die mit der ursächlichen oder Schlüsselinformation assoziierbar ist [9].

Eine latent vorbereitete oder bildbare Verbindung (vgl. Synapsen [3] bis [5]) für eine aufbaubare Beziehung kann bei erfüllter Koinzidenzbedingung sofort oder erst nach mehrmaliger Konditionierung abrupt oder graduell aufgebaut werden, je nach struktureller Veranlagung im Gedächtnis (vgl. Konjunktionstheorie nach *Marr* in [5] [16] und [17]). Mit einer Schlüsselinformation sind mehrere Informationen induktiv und/oder deduktiv assoziierbar.

Gelernte und abbaubare Beziehungen sind nach bestimmten Zeitintervallen oder altersbedingt zerstörbar, so daß sie „vergessen" werden, falls sie ungenügend oder zu selten unter der Koinzidenzbedingung bekräftigt wurden (Konsolidierung). Bei alternativen bzw. antivalenten Beziehungen erzwingt der Aufbau der einen Beziehung den Abbau der anderen, z. B. wenn sie sich auf Invarianten für Werte ein und derselben Variablen beziehen (Umlernen).

Zum Problem der Einflußnahme des Bewußtseins auf das Lernen schrieb *Zemanek* in [9] „Wie weit das Bewußtsein am menschlichen Lernen beteiligt ist, kann niemand genau sagen, auf keinen Fall ist das Fehlen des Bewußtseins bei der Maschine ein Argument gegen den lernenden Automaten".

Die Fähigkeit zum strukturellen Lernen und Assoziieren aus Erfahrung ist eine Grundvoraussetzung für das Adaptionsvermögen mit Hilfe eines veränderlichen Modells der Außenwelt. Situationsabhängige Bewertungsergebnisse, z. B. Motivationen, haben steuernden Einfluß auf diese Fähigkeit.

2. Realisierung eines lernenden Homöostaten mit intelligenter logischer Struktur

Als Studien- und Demonstrationsobjekt zur kybernetischen Modellierung intelligenter logischer Strukturen wurde im Jahre 1980 eine vom Autor entworfene adaptive Steuerung für einen lernenden Homöostaten entwickelt, der ein Simulationsbeispiel für Nahrungsaufnahmeverhalten ist. Die technische Basis bildete ein Bildschirmgerät mit dem Mikroprozessor U 880. Das Modell „lernender Homöostat" simuliert, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, tierisches situationsangepaßtes Nahrungsaufnahmeverhalten, abhängig von vierwertigen Variablen für Antrieb, Motivation und Emotion des Subjekts.

Die intelligente logische Struktur des Homöostaten führt die Transformation von Informationsdarstellungen mit mehrwertigen Variablen auf 4 Darstellungsstufen durch (Bild). Sie modelliert ein kausales Begriffsnetz bzw. ein semantisches Netz mit festen und lernbaren Kausalitätsbeziehungen als Grundrelationen zwischen Stützinformationen bzw. elementaren Begriffen, die mit Invarianten mehrwertiger Variablen dargestellt werden [6]. Das situationsangepaßte Entscheiden des Homöostaten wird durch die Implementierung von „strukturellem Lernen" und „Assoziieren aus Erfahrung" aufgrund lernbarer Beziehungen zur Verifikation von Invarianten für assoziierte Urteile bzw. Voraussagen durchgeführt.

Die einen intelligenten Automaten kennzeichnenden Hauptprozesse Erkennen, Beurteilen, Bewerten und Entscheiden werden in ihrem wechselseitigen Zusammenhang implementiert (vgl. Bild).

Der entwickelte Homöostat zeigt insoweit „intelligentes" Verhalten, daß er zwecks Befriedigung seines Bedürfnisses (abhängig vom Input-Begriff BEDARF) optimale Entscheidungen subjektiv fällt, um auf die von ihm adaptiv erkannten und beurteilten Situationen vorteilhaft zu reagieren und seine Aufgaben zu lösen. Er entscheidet sich, abhängig von seiner Erkennung und Beurteilung der externen Situation und von assoziierten Voraussagen, antriebsgesteuert und motivationsbezogen (entsprechend seiner Bewertung der internen Situation) für eines von sieben Verhaltensprogrammen. Er implementiert induktive und deduktive Schlüsse, bezogen auf die Urteile U 2 bzw. U 1, und verfügt über antivalente (bzw. alternative) lernbare Beziehungen zu einem Urteil U 2 mit Hilfe eines Erfahrungs- oder Assoziativspeichers für die Beziehungen (vgl. Bild). Das Modell „lernender Homöostat" zeigt die Lernform „bedingte Aktion" (d. h. „instrumentales Lernen" durch den Effekt) mit dem Ziel der Bedürfnisbefriedigung auf dem bestmöglichen Niveau.

Die aktive Einwirkung des Subjekts auf die Außenwelt wird aufgrund der Spezifik des Nahrungsaufnahmeverhaltens durch die Aktionen für Untersuchen, Fressen und Abweisen ohne Assoziation von entscheidungsabhängigen Erwartungen simuliert. Die Lernmethode „Versuch und Irrtum" (trial and error) wird vom Homöostaten in Fällen maximalen Bedürfnisses durch anspruchsloses Verhalten zwecks möglichen Erwerbs von Kenntnissen über unbekannte Objekte angewendet. Der lernende Homöostat zeigt anspruchsvolles (verwöhntes) und vorsichtiges Verhalten, falls geringer Bedarf vorliegt. Durch Erfassen der induktiven Beziehung zwischen Objektcharakter und Urteil U 2 lernt er Situationsmerkmale kennen. Er verstärkt durch positive Urteile seinen Antrieb. Wenn sein assoziiertes Urteil U 2 nicht bestätigt wird, zeigt er einen emotionalen Umschwung. In Gefahrensituationen fällt er über den sogenannten Reflexbogen direkt die Entscheidung zum Sichern. Bei maximalem Bedürfnis in der Gefahrensituation wird neben dem Sichern ein gefundenes Objekt trotz Gefahr untersucht und gefressen.

Das Simulationsbeispiel dient in bescheidenem Maße zur Veranschaulichung der durch kybernetische Modellierung intelligenter logischer Strukturen erzielbaren situationsabhängigen Entscheidungsfähigkeit und Adaptivität von zukünftig entwickelbaren Automaten mit Intellekt, z. B. für Prozeß-, Maschinen- oder Robotersteuerungen und Beratungseinheiten zur Entscheidungsfindung. Bereits die relativ einfache logische Struktur der implementierten adaptiven Steuerung läßt sich prinzipiell (z. B. durch Umdeutung der Variablen) auf adaptive Logik- oder Zuordnungskomplexe (bzw. Intelligente Automaten) in Steuerungen für die Sensorsignalverarbeitung [25] umsetzen, z. B. für die Lösung von antriebsgesteuerten Auswahl-, Beschickungs-, Steuer- und Regelaufgaben.

Die „vernetzten" logischen Funktionen der verifizierbaren Invarianten als Werte mehrwertiger Variabler des Intelligenten Automaten sind mit der zweiwertigen Logik und der Booleschen Algebra für das dem Homöostasekonzept hinreichend definierbar. Sie können softwaremäßig durch Zuordnungslisten bzw. Entscheidungstabellen oder zwecks Verringerung der Operationszeiten hardwaremäßig mit Zuordnungseinheiten für Zuordnungsniveaus implementiert werden [22].

Für komplizierte Modelle bzw. Algorithmen zur Darstellung von Wissen und zum Aufgabenlösen können nach Auffassung des Autors die Zuordnungen, Wertzuweisungen und Funktionen von Intelligenten Automaten durch logische Strukturen und Sprachen mit festen und lernbaren Kausalitätsbeziehungen zwischen Invarianten (z. B. Zeichen) transformierbarer Informationsdarstellungen nach der Top-Down-Methode analytisch definiert werden, so daß modulare, hierarchische und inkrementale Strukturbeschreibungen resultieren [26] und [28].

3. Kurzbeschreibung des Modells „Lernender Homöostat"

Der mit einem programmierbaren Bildschirmgerät realisierte lernende Homöostat demonstriert eine adaptive Steuerung. Sie hat eine intelligente logische Struktur mit 14 zumeist vierwertigen Variablen zur Darstellung von 53 Stützinformationen eines kausalen Begriffsnetzes auf 4 Darstellungsstufen.

Als Invarianten für die Eingangsvariablen gelten eingebbare Zeichen zur Charakterisierung der internen Situation (mit dem Input-Begriff: BEDARF) oder der externen Situation (mit den Input-Begriffen: GEFAHR und OBJEKT sowie den objektbezogenen Begriffen: CHARAKTER und GESCHMACK). Die Invarianten der Ausgangsvariablen bezeichnen verifizierte Entscheidungsergebnisse bezüglich der Verhaltensprogramme für die Operationen RUHEN, SUCHEN, UNTERSUCHEN, ABWENDEN, ABWEISEN, FRESSEN oder SICHERN.

Von bestimmten Werten der Ausgangsvariablen wird der Start bzw. die Aktivierung der entsprechenden Verhaltensprogramme verursacht. Ein Verhaltensprogramm wird entweder so lange ausgeführt, wie seine Aktivierung veranlaßt wird, oder bis es sich selbst beendet, abhängig von der Spezifik des Programms. Der Wiederstart des Verhaltensprogramms ist unter bestimmten Bedingungen möglich.

Die Zeichen für die Eingangsvariablen (d. h. die Invarianten für die Input-Begriffe) werden mit Hilfe der Tastatur (anstelle von Sensoren und Klassifikatoren) in ungeschützte Felder einer Tabelle auf dem Bildschirm eingegeben (Tafel). Die Verarbeitung der eingegebenen Formation von Invarianten der ersten Darstellungsstufe im Automaten wird mit Hilfe der Tastatur gestartet, nachdem die Eingabe für die Eingangsvariablen beendet worden ist.

Während der Verarbeitung werden die Phasen Erkennen, Bewerten und Entscheiden nacheinander und zyklisch durchgeführt. Die Invarianten für die Variablen der Erkennungs-, Bewertungs- und Entscheidungsergebnisse sind durch die Erzeugung ausgewählter Wertetupel für Vektoren mit digitalen Signalgruppen (Bits) verifizierbar. Die logischen Funktionen für die Invariantenbildung je Variable sind in Zuordnungslisten gespeichert. Diese Listen werden mit einem Interpretierprogramm schrittweise und wiederholt (iterativ) abgearbeitet, um aktuelle

Tafel. Darstellung der Stützinformationen des realisierten Modells „Lernender Homöostat" auf dem Bildschirm

INPUT-BEGRIFFE	ERKENNUNG	BEWERTUNG	ENTSCHEIDUNG
BEDARF: [ ]	Interne Situation:	Antrieb fuer:	Verhaltensprogramm:
Stufe 7 ... 0	☐ KEIN BEDARF		
	BEDARF KLEIN	☐ SATT	
GEFAHR: [ ]	BEDARF GROSS	APPETIT	☐ RUHEN
0 = nein	NOT	HUNGER	
1 = ja		GIER	
OBJEKT: [ ]	Externe Situation:		SUCHEN
0 = nein	☐ NICHTS	Motivation fuer:	
1 = ja	OBJEKT GEFUNDEN		
CHARAKTER: [ ]	GEFAHR	☐ KEINE GEFAHR	UNTERSUCHEN
0 = irrelevant	GEFAHR + OBJEKT	MUT	
1 = keine Nahrung		VORSICHT	ABWENDEN
2 = Nahrung	Urteile:	ANGST	
3 = unbekannt	☐ UNGENIESSBAR		FRESSEN
	GENIESSBAR	Emotion fuer:	
GESCHMACK: [ ]			ABWEISEN
0 = keiner	☐ KEIN LUSTGEWINN	☐ KEINE BEFRIEDIGUNG	
1 = suess	SEHR GUT	BEFRIEDIGUNG	
2 = sauer	GENUEGEND	ENTTAEUSCHUNG	SICHERN
3 = bitter	SCHLECHT	EKEL	

LERNENDER HOMOEOSTAT — Beispiel: Nahrungsaufnahmeverhalten

Invarianten für die verknüpften Variablen rekursiv verifizieren zu können (Implementierung von Rückwirkungen, im Bild gestrichelt dargestellt).

Die Bezeichnungen verifizierter Invarianten der vier Darstellungsstufen des modellierten kausalen Begriffsnetzes werden auf dem Bildschirm in den Tabellenspalten für die Ergebnisse des Erkennens, Bewertens und Entscheidens intensiv hell angezeigt und mit einem Symbol □ markiert. Die nichtverifizierten Invarianten erscheinen zur Unterscheidung mit normaler Helligkeit auf dem Bildschirm. Diese Anzeige der aktuellen Formationen der Darstellungsstufen veranschaulicht die Dynamik der Invariantenbildung im Automaten, wahlweise im kontinuierlichen oder verzögerten Schrittbetrieb.

Die schrittweise Verifikation der Invarianten ist durch programmierte Totzeiten verzögert steuerbar, damit die Änderung der Zustände auf dem Bildschirm beobachtet werden kann. Die aktuelle Phase der Verarbeitung wird auf dem Bildschirm durch Kennzeichnung der entsprechenden Tabellenspalte angezeigt.

Bestimmte Operationen der aktivierten Verhaltensprogramme werden automatisch simuliert. Beispielsweise wird infolge der Erkennung eines Objekts die Operation UNTERSUCHEN bezüglich des Input-Begriffs CHARAKTER eine bestimmte Zeit lang zur erfahrungsabhängigen Bildung von Urteilen durchgeführt (mögliche Folge: Operation ABWENDEN). Während der Operation FRESSEN kann der beurteilte Input-Begriff GESCHMACK zur Operation ABWEISEN führen. Die Operationen für ABWENDEN, ABWEISEN und FRESSEN führen zum Rücksetzen der Eingangsvariablen, die die Input-Begriffe OBJEKT, CHARAKTER und GESCHMACK sowie die Urteile betreffen. Die Operation FRESSEN führt zur Verminderung des Bedürfnisses (interne Situation), indem für den Input-Begriff BEDARF eine andere Invariante gebildet wird.

Wenn der Automat infolge der Verarbeitung der Informationen der Eingangsvariablen eine der Operationen SUCHEN, RUHEN oder SICHERN durchführt, zeigt er die Bereitschaft zur erneuten Eingabe von Invarianten für Input-Begriffe mit einem Symbol an.

Die simulierte Emotion wird durch verschiedene akustische Signale entsprechend den verifizierbaren Invarianten für die Emotion verdeutlicht.

4. Schlußfolgerungen

Der beschriebene lernende Homöostat mit adaptiver Steuerung demonstriert intelligentes Verhalten beim Aufgabenlösen zwecks Aufrechterhaltung der Homöostase mit dem Ziel der maximalen Bedürfnisbefriedigung. Wenn wir „Intellekt" als die Fähigkeit zum mindestens unbewußten bzw. instinktmäßigen Denken, d. h. zum antriebsgesteuerten und motivationsbezogenen Erkennen des Wesentlichen und zum algorithmierbaren Aufgabenlösen durch situationsangepaßtes Entscheiden, definieren, kann der realisierten adaptiven Steuerung künstlicher Intellekt zugesprochen werden. Dagegen umfaßt die Intelligenz des menschlichen Gehirns neben Intellekt noch die Fähigkeit zum bewußten, intuitiven Problemlösen durch Nachdenken [10].

Das Simulationsbeispiel zeigt die Lernform „bedingte Aktion" durch bewertete assoziierte Voraussagen aus Erfahrung. Auf der Basis des definierten Intelligenten Automaten ist außerdem das bedingte Erwägen von optimalen Entscheidungen (Lernen durch Einsicht) für adaptive Steuerungen zur Sensorsignalverarbeitung implementierbar [22].

Die angestrebte Entwicklung adaptiver Prozeß-, Maschinen- und Robotersteuerungen mit künstlichem Intellekt erfordert verstärkte, interdisziplinäre Forschungsarbeiten zur Modellierung intelligenter logischer Strukturen zwecks anwendungsorientierter Darstellung von Wissen als modifizierbare kausale Begriffsnetze (bzw. semantische Netze) für situationsangepaßtes Entscheiden. Sie haben große Bedeutung für die Rationalisierung und Automatisierung, aber auch für die Vertiefung der Analyse menschlicher Intelligenz.

Als Beitrag hierzu wurden erfinderische Lösungen für intelligente Automaten in [22] beschrieben. Die Veröffentlichung von weiterführenden Darstellungen zu Struktur- und Funktionsprinzipien intelligenter Automaten ist vorgesehen.

Literatur

[1] *Anochin, P. K.:* Neues über die Arbeit des Gehirns. Wissenschaft und Menschheit. Leipzig/Jena/Berlin: Urania-Verlag 1967.

[2] *Biesold, D.; Matthies, H.:* Neurobiologie. Jena: VEB Gustav-Fischer-Verlag 1977.

[3] *Wolf, G.:* Neurobiologie — Vom Molekül zum Verhalten. WTB Band 120. Berlin: Akademie-Verlag 1976.

[4] *Sinz, R.:* Gehirn und Gedächtnis. Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit 1978.

[5] *Sinz, R.:* Neurobiologie und Gedächtnis. Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit 1979.

[6] *Peschel, M.:* Was ist Modellbildung? Wissenschaft und Fortschritt **26** (1976) H. 3, S. 98 ff.

[7] *Stachowiak, H.:* Denken und Erkennen im kybernetischen Modell. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1965.

[8] *Neumann, J. v.:* Die Rechenmaschine und das Gehirn. München: R. Oldenbourg Verlag 1965.

[9] *Zemanek, H.:* Lernende Automaten. Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung. Hrsg. *K. Steinbuch.* Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1967.

[10] *Guthke, J.:* Ist Intelligenz meßbar? Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1978.

[11] *Klix, F.:* Über Ursprünge der menschlichen Intelligenz. Wissenschaft und Fortschritt **27** (1977) H. 11, S. 492 und 493; H. 12, S. 543.

[12] *Rubinstein, S. L.:* Das Denken und die Wege seiner Erforschung. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1977.

[13] *Graumann, C. F.:* Denken (Sammlung von Originalarbeiten). Neue Wissenschaftliche Bibliothek 3, Psychologie. Köln/Westberlin: Kiepenheuer & Witsch 1965.

[14] *Rosenblatt, F.:* The Perceptron: A probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain. Psychological Review, Vol. **65** (1958) No. 6, pp. 386–408.

[15] *Wigström, H.:* A Model of a Neuronal Network with Recurrent Inhibition. Kybernetik **16** (1974) Jan., pp. 303–112.

[16] *Kohonen, Oja:* Fast Adaptive Formation of Orthogonalizing Filters and Associative Memory in Recurrent Networks of Neuron-Like Elements. Biological Cybernetics **21** (1976) pp. 85–95.

[17] *Fukushima, K.; Miyake, S.:* A Selforganizing Neural Network with a Funktion of Associative Memory: Feedback-Type Cognitron. Biological Cybernetics **28** (1978) pp. 201–208.

[18] *Wolf, G.:* Assoziativspeicher — Prinzipien und Möglichkeiten der Realisierung. data report **11** (1976) H. 2, S. 29–34.

[19] *Scholz, C. C.:* Automatisierung der Problemerkennung als Vorstufe zur künstlichen Intelligenz. 5. Internationaler Kongreß Datenverarbeitung im europäischen Raum, Wien 21. bis 25. März 1977.

[20] *Holtz, K.; Langheld, E.:* Der selbstlernende und programmierfreie Assoziationscomputer. Ein Simulationsmodell des menschlichen Gehirns. ELEKTRONIK (1978) H. 14, S. 39–46; H. 15, S. 53–62.

[21] *Albus, J.:* A Modell of the Brain for Robot Control — Part 1: Defining Notation. BYTE (1979) June, pp. 10–28.

[22] *Liß, E.:* Seit 1978 angemeldete Wirtschaftspatente der Klasse G06F 15/18:

WP 145436 — Automat mit künstlicher Intelligenz;
WP 145338 — Zuordnungskomplex mit Eigenschaften ähnlich der assoziativen Denkweise;
WP 140927 — Modulare Zuordnungseinheit mit Schwellwertlogik;
WP 145810 — Verfahren zur assoziativen Einkopplung von Signalen in einen Übertragungskanal;
WP 149723 — Intelligenter Automat als Grobmodell des Gehirns ohne Bewußtsein;
WP 0153744 — Intelligenter Automat mit Adaptionsvermögen;
WP 234948/8 — Programmierbare Logikanordnung für Intelligente Automaten und adaptive Steuerungen mit künstlichem Intellekt.

[23] *Tscheschner, W.; Kordon, U.:* Technische Systeme der automatischen Sprachverarbeitung. rfe **29** (1980) H. 2, S. 83–87.

[24] *Schmidt, H.:* Schnittstellen zwischen monolithischen Prozessoren und der Außenwelt, Teil 1 und 2. ELEKTRONIK **29** (1980) H. 11, S. 67–72; H. 12, S. 77–91.

[25] *Haferkorn, P.; Schwarz, W.:* Steuerungen für Industrieroboter. Feingerätetechnik **30** (1981) H. 1, S. 9–13.

[26] *Steinbuch, K.; Weber, W.:* Taschenbuch der Informatik, Band 2 — Struktur und Programmierung von EDV-Systemen. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1974.

[27] *Wunsch, G.:* Zellulare Systeme. WTB Band 194. Berlin: Akademie-Verlag 1977.

[28] *Fischer, G.; Kling, U.:* Die Erforschung kognitiver Phänomene — zum Stellenwert der Arbeiten von *H. A. Simon* für die Informatik. Angewandte Informatik **22** (1980) H. 6, S. 215–223.

[29] *Čačko, A. G.; Stachovaja, T. M.:* Predstavlenie znanij i formirovanie rešenij v praktičeskoj sisteme iskustvennogo intellekta (Darstellung von Wissen und Bildung von Entscheidungen in einem praktischen System mit künstlichem Intellekt). Kibernetika **17** (1980) No. 4, Str. 99–108.

[30] *Cherniavsky, V. S.; Konrad, E.:* On Limitations for Algorithmic Modelling of Intelligent Activities. International Conference Artifical Intelligence and Information-Control Systems of Robots. June 30 — July 4, 1980, Smolenice.

msr 7586

Dr.-Ing. *H.-W. Röder* und Dr.-Ing. *G.-S. Rösel*, Berlin[1])

Anwendung und Vergleich von 6 Entwurfsverfahren für Mehrgrößenregelungen auf ein Dampferzeugermodell

IA 2.3.1.7.; 5.5.1.

0. Einleitung

Entwurf und Auslegung von Dampferzeugerregelungen sind ein wichtiger Anwendungsfall für Mehrgrößenregelungskonzepte. In [1] und [2] sind verschiedene erfolgreich verwendete Entwurfsmethoden zitiert bzw. vorgestellt worden. Durch die nachfolgenden Untersuchungen sollen die Erfahrungen mitgeteilt werden, die die Autoren bei der Anwendung von sechs verschiedenen Entwurfsmethoden gesammelt haben, um anderen Anwendern eine Orientierungshilfe bei ihrer Problemlösung zu geben. Auf eine ausführliche mathematische und systemtheoretische Herleitung und Begründung der verwendeten Entwurfsverfahren wird deshalb zugunsten ihres Vergleiches verzichtet.

1. Voraussetzungen für die Durchführung des Entwurfes

Der Entwurf von Mehrgrößenregelungen setzt adäquate Prozeßmodelle voraus. Obwohl verschiedentlich beklagt wird, daß solche Modelle nicht verfügbar seien, besteht dieses Problem praktisch nicht. Man kann davon ausgehen, daß für viele technische Prozesse, in denen der Einsatz von Mehrgrößenregelungen wirtschaftlich lohnend ist bzw. die regelungstechnische Beherrschung des Prozesses überhaupt erst ermöglicht, die entsprechenden Modelle bereitgestellt werden und vorliegen. Hiervon zeugen Veröffentlichungen aus unterschiedlichen technischen Bereichen [2] bis [6]. Für Kraftwerksprozesse werden außerdem im Stadium der Errichtung der Anlage vielfältige Simulationsuntersuchungen betrieben (z. B. Sicherheitsstudien, Störungsuntersuchungen, Auslegungsoptimierung u. ä. [7]). Es ist naheliegend, für den Entwurf einer Regelung in diesem Stadium der Anlagenentwicklung die Methoden des Zeitbereiches zu benutzen, weil die nichtlinearen Simulationsmodelle in einer solchen Form vorliegen. So wurde das den hier berichteten Untersuchungen zugrunde liegende Modell aus einem nichtlinearen Prozeßmodell abgeleitet, das zur Parameteroptimierung „konventionell projektierter" Regelungsstrukturen benutzt und durch Nachweisfahrten an der Anlage erfolgreich verifiziert wurde.

In der Diskussion um die Verwendung von Entwurfsmethoden des Zeit- oder solchen des Frequenzbereiches wird auch die Frage nach dem Nachweis der Integrität der entworfenen Regelung, d. h. ihrer Funktionsfähigkeit beim Ausfall einzelner Komponenten des Regelungssystems, gestellt. Dieses Problem besteht im Kraftwerk jedoch praktisch nicht. Bei Störungen im Regelungssystem müssen aus technologischen Gründen Schutzfunktionen wirksam werden, und der Normalbetrieb darf in jedem Fall nicht aufrecht erhalten bleiben (z. B. bei Ausfall der Speisewasserversorgung). Auch aus diesem Grunde werden die folgenden Untersuchungen nur für Zeitbereichsmethoden geführt.

Eine praktisch bedeutsame Grundlage für den Regelungsentwurf ist das Kriterium zur Beurteilung der Güte der Regelung. Hierfür besteht das geeignete Maß in dem im Zusammenhang mit den nachweispflichtigen Abnahmeversuchen erreichbaren Systemverhalten bei definierten Prüfstörungen [8]. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, den im Entwurfsvorgang ermittelten Regler möglichst prozeßnah unter Prüfstörungen mit dem Anlagenmodell zu simulieren und die Einhaltung praktischer Forderungen anhand der Systemantwort auszuwerten (z. B. Einhalten zulässiger Abweichungen und Gradienten, Belastung von Stellgliedern). Den in den Bildern 1 und 2 dargestellten Regelverläufen liegen solche Prüfstörungen zugrunde.

[1]) Mitteilung aus dem VEB Kombinat Kraftwerksanlagenbau, Stammbetrieb, Direktorat Projektierung, Berlin.

2. Untersuchte Entwurfsmethoden

2.1. Methoden der Zustandsregelung

Bei diesen Methoden wird der im Modell definierte Zustandsvektor zur Bildung der Stelleingriffe herangezogen.

2.1.1. Polverschiebung (pole-placement)

Diese seit 1962 bekannte Entwurfsmethode hat zum Ziel, für das ungeregelte System (1)

$$\left.\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}} &= \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u} + \boldsymbol{B}_s\boldsymbol{u}_{\text{stör}}\,, \\ \boldsymbol{y} &= \boldsymbol{C}\boldsymbol{x} \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

(mit $\dim(\boldsymbol{x}) = n$, $\dim(\boldsymbol{u}) = m$, $\dim(\boldsymbol{u}_{\text{stör}}) = m_s$, $\dim(\boldsymbol{y}) = r$, $r < n$) ein Regelgesetz (2)

$$\boldsymbol{u} = \boldsymbol{K}_x\boldsymbol{x} \tag{2}$$

so zu bestimmen, daß die Pole des Systems, d. h. die Eigenwerte von $(\boldsymbol{A} + \boldsymbol{BK})$, auf vorzugebenden Positionen liegen, wodurch ein Regeleffekt eintritt. Nach der Methode aus [9] kann man die Reglermatrix $\boldsymbol{K}_x$ nach Gl. (3) bestimmen:

$$\boldsymbol{K}_x = (\boldsymbol{MB})^{-1}\,\mathrm{diag}\,(\lambda_{iz} - \lambda_i)\,\boldsymbol{M}\,, \tag{3}$$

wobei im einzelnen bedeuten

λ_i m dominierende Eigenwerte von $\boldsymbol{A}$ (ungeregelt)
λ_{iz} Zielorte der m verlagerten Eigenwerte im geregelten System
$\boldsymbol{M}$ Matrix der zu den λ_i gehörenden Linkseigenvektoren von $\boldsymbol{A}$
$\boldsymbol{B}$ Steuermatrix.

2.1.2. Optimale Zustandsregelung (optimal control)

Das Entwurfsziel dieser in [10] beschriebenen Methode besteht in der Minimierung des Funktionals (4)

$$I = \int_{t=0}^{\infty} (\boldsymbol{x}^T\boldsymbol{Q}_x\boldsymbol{x} + \boldsymbol{u}^T\boldsymbol{Q}_u\boldsymbol{u})\,\mathrm{d}t \tag{4}$$

durch ein Regelgesetz vom Typ Gl. (2). Der Regler wird aus der Lösung der Matrix-Riccati-Differentialgleichung (5)

$$\dot{\boldsymbol{P}} = -\boldsymbol{PA} - \boldsymbol{A}^T\boldsymbol{P} + \boldsymbol{PBQ}_u^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{P} - \boldsymbol{Q}_x \tag{5}$$

über die Beziehung Gl. (6) berechnet.

$$\boldsymbol{K}_x = \boldsymbol{Q}_u^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{P}\,. \tag{6}$$

Die zur Lösung benötigten Bewertungsmatrizen $\boldsymbol{Q}_x$ und $\boldsymbol{Q}_u$ können so bestimmt werden, daß praktische Randbedingungen im Entwurf Berücksichtigung finden. Eine entsprechende adaptive Strategie ist in [11] beschrieben worden. Sie ist dann besonders vorteilhaft, wenn beim Entwurf ein Display zum interaktiven Dialog mit dem Entwurfsrechner zur Verfügung steht.

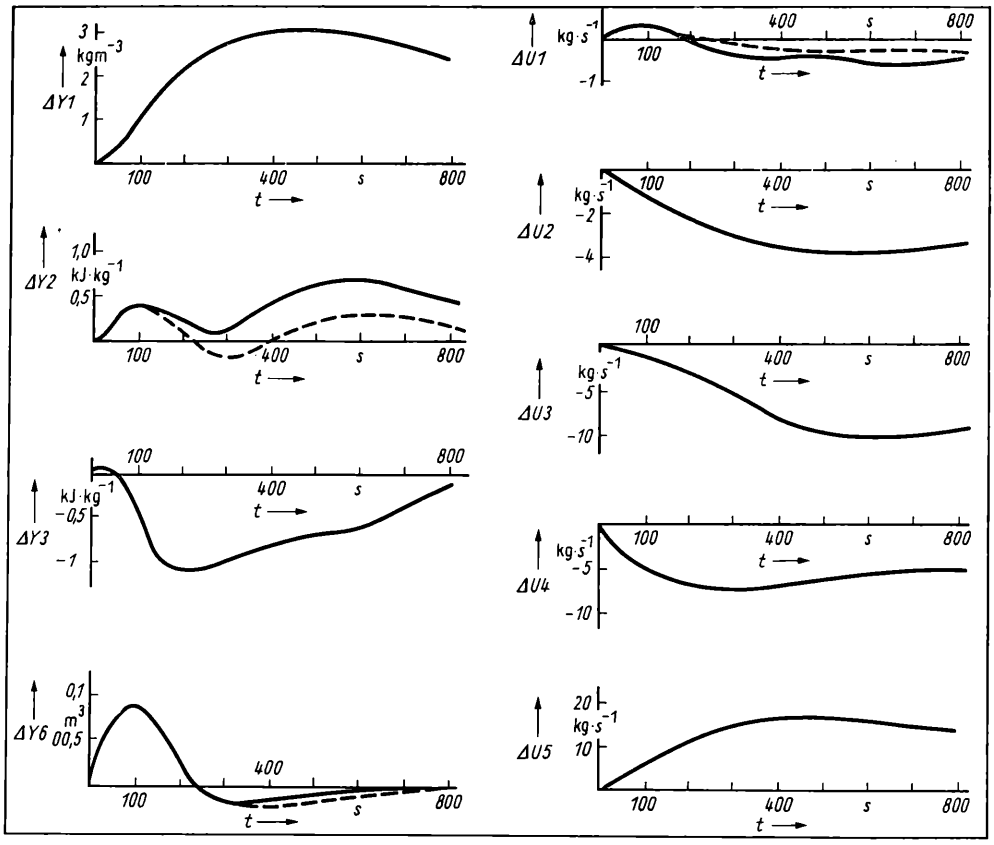


Bild 1. Verlauf der wichtigsten Ausgangs- und der Steuergrößen des optimal ausgangs-(———) und zustandsgeregelten (— — —) Systems nach Sprungstörung $\Delta u6 = 190$ kJ/kg. Regelung mit I-Anteilen

2.2. Methoden der Ausgangsgrößenregelung

Bei diesen Methoden wird zur Erzeugung des Stellvektors nur auf direkt aus dem Prozeß verfügbare Größen zurückgegriffen:

$$\boldsymbol{u} = \boldsymbol{K}_y \boldsymbol{y} \,. \tag{7}$$

Damit vermeidet man die bei der gerätetechnischen Umsetzung der vorgenannten Methoden erforderliche Rekonstruktion des Zustandsvektors.

2.2.1. Optimale Ausgangsgrößenregelung (optimal output control)

Verwendet man zur Minimierung des Funktionals (4) statt des Zustandsreglers einen Ausgangsregler, werden Funktional (4) und die daraus resultierende Regelung nach Gl. (7) vom Anfangszustand $\boldsymbol{X}_0$ des Systems abhängig [12]. Bei der in [12] vorgeschlagenen Entwurfsmethode wird deshalb der Erwartungswert von Gl. (4) für beliebig verteilte $\boldsymbol{X}_0$ minimiert, wobei, falls

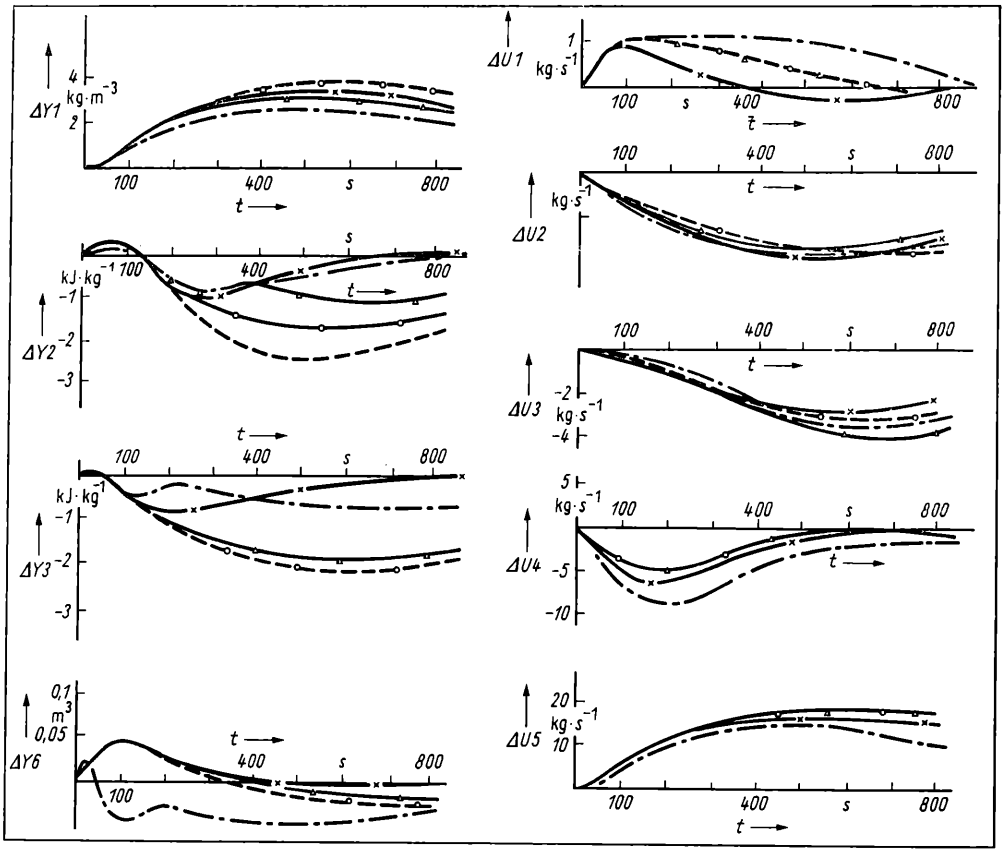


Bild 2. Verlauf der wichtigsten Ausgangs- und der Steuergrößen des geregelten Systems nach Sprungstörung $\Delta u6 = 190$ kJ/kg. Regelung ohne I-Anteile

(— — —) optimaler Zustandsregler;
(———) optimaler Ausgangsregler;
(○) suboptimaler Ausgangsregler I;
(△) suboptimaler Ausgangsregler II;
(—·—·—) suboptimaler Ausgangsregler III

nähere Informationen nicht vorliegen, $\boldsymbol{X}_0 = \boldsymbol{I}$, d. h. gleichverteilt, angesetzt werden kann. Die Reglermatrix $\boldsymbol{K}_y$ ergibt sich als Lösung des nichtlinearen Problems (8)

$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{K}_y &= -\boldsymbol{Q}_u^{-1}\boldsymbol{B}^T\boldsymbol{K}\boldsymbol{L}\boldsymbol{C}^T(\boldsymbol{C}\boldsymbol{L}\boldsymbol{C}^T)^{-1}, \\ \boldsymbol{0} &= \boldsymbol{L}\bar{\boldsymbol{A}}^T + \bar{\boldsymbol{A}}\boldsymbol{L} + \boldsymbol{X}_0, \\ \boldsymbol{0} &= \boldsymbol{K}\bar{\boldsymbol{A}} + \bar{\boldsymbol{A}}^T\boldsymbol{K} + (\boldsymbol{K}_y\boldsymbol{C})^T\boldsymbol{Q}_u\boldsymbol{K}_y\boldsymbol{C} + \boldsymbol{Q}_x \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

mit

$$\bar{\boldsymbol{A}} = \boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}_y\boldsymbol{C}.$$

Zur effektiven Lösung dieses Problems kann der in [13] angegebene Algorithmus verwendet werden. Die Bewertungsmatrizen $\boldsymbol{Q}_x$ und $\boldsymbol{Q}_u$ bestimmt man wie oben.

2.2.2. Suboptimale Ausgangsgrößenregelung

Um die numerischen Operationen, die bei der Lösung von Gl. (8) erforderlich sind, zu vermeiden, aber trotzdem die systemtheoretisch und realisierungstechnisch angenehmen Eigenschaften optimaler Ausgangsgrößenregler möglichst weitgehend zu erhalten, bietet sich die Anwendung verschiedener „suboptimaler" Entwurfsmethoden an. Sie gründen sich durchweg auf optimale Zustandsregler und führen durch unterschiedliche Vereinfachungen zu Ausgangsreglern. Damit sind sie numerisch leichter bestimmbar als optimale Ausgangsgrößenregler, haben jedoch den systemtheoretischen Nachteil, daß sie nicht in jedem Fall stabile, d. h. praktisch überhaupt brauchbare, Regelungen liefern müssen. Eine Überprüfung des entworfenen Reglers durch prozeßnahe Simulation ist hier unerläßlich. Sollte ein negativer Fall eintreten (was in keinem der von den Autoren untersuchten Probleme auftrat), muß der Regler verworfen und der Entwurf entweder mit anderen Bewertungen oder einer anderen Methode wiederholt werden. Wegen der einfachen Durchführbarkeit sollten diese Methoden jedoch keinesfalls im voraus ausgeschlossen werden.

2.2.2.1. Suboptimale Ausgangsgrößenregelung nach [14]

Ordnet man den Zustandsvektor nach meßbaren ($\boldsymbol{x}_1$) und nichtmeßbaren Zustandsgrößen ($\boldsymbol{x}_2$) entsprechend Gl. (9)

$$\boldsymbol{x} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{x}_1 \\ \boldsymbol{x}_2 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

so läßt sich als Spezialfall des in [14] als „minimum-normtype" bezeichneten Reglers ein Zustandsregler entwerfen, der nur die meßbaren Zustandsgrößen $\boldsymbol{x}_1$ enthält, die, als Ausgangsgrößen des Prozesses definiert, verfügbar sind. Das Regelgesetz (2) läßt sich mit Gl. (9) als Gl. (10) schreiben

$$\boldsymbol{u} = [\boldsymbol{K}_{x1}\boldsymbol{K}_{x2}]\begin{bmatrix} \boldsymbol{x}_1 \\ \boldsymbol{x}_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

und für den Fall, daß gilt

$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{C}\boldsymbol{x} = [\boldsymbol{I}\ \boldsymbol{0}]\begin{bmatrix} \boldsymbol{x}_1 \\ \boldsymbol{x}_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

läßt sich nach [14] der suboptimale Regler, der das Kriterium

$$\min_{\boldsymbol{K}} ||\boldsymbol{K}_y - \boldsymbol{K}_x|| = \min_{\boldsymbol{K}} ||\boldsymbol{G}|| \quad (12)$$

erfüllt, aus Gl. (13) berechnen:

$$\boldsymbol{K}_y = \boldsymbol{K}_x\boldsymbol{C}^T(\boldsymbol{C}\boldsymbol{C}^T)^{-1}\boldsymbol{C}. \quad (13)$$

Dabei ist die Norm durch die Beziehung (14) definiert.

$$\boldsymbol{G} = \sqrt{\sum_i \sum_j g_{ij}^2} = \sqrt{\mathrm{sp}\,(\boldsymbol{G}^T\boldsymbol{G})}. \quad (14)$$

Wegen Gl. (11) stellt Gl. (13) aber nichts anderes dar als $\boldsymbol{K}_{x1}$. Damit wird der suboptimale Ausgangsregler $\boldsymbol{K}_y$ einfach

$$\boldsymbol{K}_y = \boldsymbol{K}_{x1}. \quad (15)$$

Die Darstellung (11) ist normalerweise mit dem Problem gegeben. Sie läßt sich anderenfalls aber durch eine einfache Transformation [15] immer herbeiführen.

2.2.2.2. Suboptimale Regelung durch Reduktion des Regelgesetzes [16]

Geht man von dem gemäß den Gln. (9) bis (11) geordneten Problem aus, so beschreibt Gl. (16) das optimal zustandsgeregelte System:

$$\begin{bmatrix} \dot{\boldsymbol{x}}_1 \\ \dot{\boldsymbol{x}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\boldsymbol{A}}_{11} & \bar{\boldsymbol{A}}_{12} \\ \bar{\boldsymbol{A}}_{21} & \bar{\boldsymbol{A}}_{22} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \boldsymbol{x}_1 \\ \boldsymbol{x}_2 \end{bmatrix} \quad (16)$$

mit

$$\bar{\boldsymbol{A}} = \boldsymbol{A} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{K}_x$$

$\boldsymbol{x}_2$ läßt sich nun aus dem Regelgesetz (10) eliminieren, wenn man die aus der Modellvereinfachung bekannte Näherung (17) heranzieht:

$$\dot{\boldsymbol{x}}_2 = \boldsymbol{0}. \quad (17)$$

Dann ergibt sich aus Gl. (16)

$$\boldsymbol{x}_2 = -\boldsymbol{A}_{22}^{-1}\boldsymbol{A}_{21}\boldsymbol{x}_1, \quad (18)$$

und mit Gl. (18) wird aus Gl. (10)

$$\boldsymbol{u} = [\boldsymbol{K}_{x1} - \boldsymbol{K}_{x2}\boldsymbol{A}_{22}^{-1}\boldsymbol{A}_{21}]\,\boldsymbol{x}_1 \quad (19)$$

bzw. der Ausgangsgrößenregler (20)

$$\boldsymbol{K}_y = \boldsymbol{K}_{x1} - \boldsymbol{K}_{x2}\boldsymbol{A}_{22}^{-1}\boldsymbol{A}_{21}. \quad (20)$$

2.2.2.3. Suboptimale Regelung durch vorgelagerte Modellreduktion

Während bei den zwei vorgenannten Methoden zunächst der Entwurf des Zustandsreglers am „vollen" Modell der Ordnung n vorgenommen werden muß und daraus der Ausgangsgrößenregler der Ordnung r ($r < n$) abgeleitet wird, erzeugt man bei dieser Methode zunächst ein Modell der Ordnung r durch Modellreduktion, das dann nur noch die meßbaren Zustandsgrößen $\boldsymbol{x}_1$ enthält. Für dieses Modell wird nun ein optimaler Zustandsregler gemäß Abschnitt 2.1.2. bestimmt, der hinsichtlich des Ursprungsmodells einen Ausgangsgrößenregler darstellt. Verwendet man die rechentechnisch sehr bequeme Modellreduktionsmethode nach [17], so hat man überdies den Vorteil, daß die $\boldsymbol{C}$-Matrix in den reduzierten Zustandsvektor eingearbeitet werden kann. Das Reduktionsmodell enthält somit in jedem Fall den Ausgangsgrößenvektor.

Der Entwurf wird also in zwei Schritten durchgeführt:

1. Schritt: Modellreduktion nach [17]

Ursprungmodell: $\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}$

$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{C}\boldsymbol{x}$$

Reduktionsmodell: $\dot{\boldsymbol{x}}_R = \boldsymbol{A}_R\boldsymbol{x}_R + \boldsymbol{B}_R\boldsymbol{u}$

mit
$$\left.\begin{aligned} \boldsymbol{A}_R &= \boldsymbol{C}\boldsymbol{A}\boldsymbol{S}\boldsymbol{C}^T(\boldsymbol{C}\boldsymbol{S}\boldsymbol{C}^T)^{-1} \\ \boldsymbol{B}_R &= \boldsymbol{A}_R\boldsymbol{C}\boldsymbol{A}^{-1}\boldsymbol{B} \\ \boldsymbol{x}_R &= \boldsymbol{C}\boldsymbol{x} \end{aligned}\right\} \quad (21)$$

und $\boldsymbol{S}$ als Lösung der Ljapunow-Gleichung (22)

$$(\boldsymbol{A} + \alpha\boldsymbol{I})\,\boldsymbol{S} + \boldsymbol{S}(\boldsymbol{A} + \alpha\boldsymbol{I})^T = -(\boldsymbol{A}^{-1}\boldsymbol{B})\,\boldsymbol{Q}(\boldsymbol{A}^{-1}\boldsymbol{B})^T, \quad (22)$$

wobei der Einfachheit halber $\alpha = 0$ und $\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{I}$ gesetzt werden sollten [17].

2. Schritt: Entwurf eines optimalen Zustandsreglers für das System (21) gemäß Abschnitt 2.1.2.

3. Vergleich der Entwurfsmethoden

Die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen sechs Methoden wurden benutzt, um Mehrgrößenregler für einen fossil beheizten Dampferzeuger zu entwerfen. Die Anlage und das zum Entwurf verwendete Prozeßmodell sind in früheren Veröffentlichungen [2] [11] [13] und [18] ausführlich vorgestellt worden. Das Modell enthält 20 Zustands-, 5 Steuer-, 9 Ausgangsgrößen (Tafel 1).

Tafel 1. Zustands-, Eingangs- und Ausgangsgrößen des Dampferzeugermodells

$x(1)$	$= y(1)$	– Dampfdichte nach HD 4
$x(2)$	$= y(2)$	– Dampfenthalpie nach HD 4
$x(3), x(4), x(5)$		– Dampfenthalpien im HD 4
$x(6)$	$= y(3)$	– Dampfenthalpie nach HD 3
$x(7), x(8), x(9)$		– Dampfenthalpien im HD 3
$x(10)$	$= y(4)$	– Dampfenthalpie nach HD 2
$x(11)$		– Dampfenthalpie im HD 2
$x(12)$	$= y(5)$	– Dampfenthalpie nach HD 1
$x(13), x(14)$		– Dampfenthalpien im HD 1
$x(15)$	$= y(6)$	– Wasservolumen im Separator
$x(16)$	$= y(7)$	– Dampfdichte im Separator
$x(17), x(19)$		– Wasserenthalpien im Economiser
$x(18)$	$= y(8)$	– Wasserenthalpie nach dem Economiser
$x(20)$	$= y(9)$	– Rohrwandtemperatur des Verdampfers
$x(21)$	$= y(10) = \int (x(1))\,dt$	
$x(22)$	$= y(11) = \int (x(2))\,dt$	
$x(23)$	$= y(12) = \int (x(6))\,dt$	
$x(24)$	$= y(13) = \int (x(10))\,dt$	
$x(25)$	$= y(14) = \int (x(15))\,dt$	
$u(1)$		– Einspritzwasserstrom (3. Einspritzung)
$u(2)$		– Einspritzwasserstrom (2. Einspritzung)
$u(3)$		– Einspritzwasserstrom (1. Einspritzung)
$u(4)$		– Brennstoffmassenstrom
$u(5)$		– Speisewassermassenstrom
$u(6)$		– unterer Heizwert (H_u) des Brennstoffes

Beim Entwurf von 5 Integralanteilen im Regelgesetz ergab sich eine entsprechende Erhöhung der Dimensionen von $\boldsymbol{x}$ und $\boldsymbol{y}$ auf 25 bzw. 14. Bei den hier vorgelegten Untersuchungen tritt $u6$ als Störgröße auf.

Die entworfenen Regelungen sollen nun nach folgenden Gesichtspunkten verglichen werden:

- Güte des Ausregelvorganges bei Heizwertstörungen
- Aufwand zur gerätetechnischen Umsetzung des Reglers
- rechentechnischer Aufwand zur Erzeugung des Regelgesetzes.

In den Bildern 1 und 2 sind die Verläufe der wichtigsten vier Ausgangsgrößen sowie der Steuergrößen nach einer sprungförmigen Störung $u6 = 190$ kJ/kg dargestellt. Um für den Entwurf eine angemessene Vergleichsbasis zu haben, wurde bei allen Methoden, die auf der Minimierung des Funktionals (4) beruhen, mit denselben Bewertungsmatrizen $\boldsymbol{Q}_u$ und $\boldsymbol{Q}_x$ gearbeitet (Tafel 4). Bei der Methode der Polverschiebung wurden Entwürfe mit etwa 20 verschiedenen Zielpolkonstellationen vorgenommen, wobei u. a. auch die Pollagen, die mit den anderen Entwurfsverfahren erzielt wurden (z. B. die nach den Tafeln 2 und 3), zum Einsatz gelangten.

Bild 1 zeigt die Systemreaktionen bei Verwendung von Reglern mit I-Anteilen (hier wurde nur nach den Methoden 2.1.2. und 2.2.1. entworfen), Bild 2 bei Reglern ohne I-Anteile (Entwurf nach allen sechs Methoden). In allen abgebildeten Fällen kann das Regelergebnis als praktisch gut bezeichnet werden. Die geringen Differenzen im Kurvenverlauf sind praktisch bedeutungslos. Alle dargestellten Entwurfsergebnisse sind unter diesem Gesichtspunkt als gleichwertig anzusehen.

Auffallend ist, daß kein Regler nach Polverschiebung gefunden werden konnte, der eine Systemreaktion liefert, die auch nur annähernd befriedigendes Verhalten aufweist. Vielmehr sind die

Tafel 2. Eigenwertverteilung des ungeregelten und des geregelten Systems

ungeregelt		mit opt. Zust. reg. (ohne I-Anteile)		mit opt. Zust. reg. (mit I-Anteilen)		mit opt. Ausg. reg. (mit I-Anteilen)	
Re	Im	Re	Im	Re	Im	Re	Im
−6.98 E-01		−6.98 E-01		−6.98 E-01		−6.98 E-01	
−4.98 E-02		−6.45 E-02		−4.97 E-02		−5.99 E-02	±2.15 E-02
−4.95 E-02	±1.25 E-02	−5.42 E-02	±1.21 E-02	−4.95 E-02	±1.25 E-02	−4.96 E-02	±2.23 E-02
−3.49 E-02		−4.23 E-02	±7.07 E-03	−3.52 E-02		−4.13 E-02	±1.89 E-02
−3.40 E-02	±1.91 E-02	−2.92 E-02	±2.4 E-02	−3.40 E-02	±1.90 E-02	−3.08 E-02	
−2.61 E-02		−2.17 E-02	±1.32 E-03	−2.64 E-02		−1.64 E-02	±2.0 E-02
−1.87 E-02	±1.82 E-02	−2.13 E-02	±2.32 E-03	−1.86 E-02	±1.86 E-02	−1.4 E-02	
−1.82 E-02	±1.97 E-04	−2.52 E-02		−1.84 E-02	±4.0 E-02	−1.35 E-02	±1.28 E-02
−7.66 E-03	±8.76 E-03	−1.41 E-02		−1.14 E-02	±1.11 E-02	−1.2 E-02	
−6.26 E-03		−7.92 E-03	±5.82 E-03	−9.89 E-03	±1.10 E-02	−9.35 E-03	±3.49 E-03
−4.50 E-03	±2.19 E-03	−6.36 E-03	±1.55 E-03	−7.25 E-03		−7.77 E-03	±4.91 E-03
−1.25 E-03		−3.21 E-03	±3.35 E-03	−5.86 E-03	±5.69 E-03	−7.26 E-03	
−1.07 E-03	±3.03 E-03			−5.67 E-03	±2.14 E-03	−5.26 E-03	
				−4.43 E-03		−2.63 E-03	±3.49 E-03
				−2.69 E-03	±3.19 E-03	−5.12 E-04	
				−4.86 E-04			

Tafel 3. Eigenwertverteilung des ausgangsgrößengeregelten Systems (Regelung ohne I-Anteile)

mit opt. Ausg. reg.		mit subopt. Ausg. reg. (Methode I)		mit subopt. Ausg. reg. (Methode II)		mit subopt. Ausg. reg. (Methode III)	
Re	Im	Re	Im	Re	Im	Re	Im
−6.98 E-01		−6.98 E-01		−6.98 E-01		−6.98 E-01	
−6.46 E-02		−6.46 E-02		−6.46 E-02		−6.58 E-02	±2.72 E-02
−5.74 E-02	±1.88 E-02	−5.41 E-02	±1.26 E-02	−5.37 E-02	±1.35 E-02	−5.04 E-02	±2.18 E-02
−4.49 E-02	±1.59 E-02	−4.14 E-02	±1.15 E-02	−4.06 E-02	±1.39 E-02	−3.28 E-02	
−2.35 E-02	±1.92 E-02	−2.63 E-02	±1.82 E-02	−2.51 E-02	±1.46 E-02	−1.96 E-02	±1.88 E-02
−1.63 E-02	±1.91 E-02	−2.11 E-02	±1.24 E-02	−2.09 E-02	±1.66 E-02	−1.53 E-02	±6.38 E-04
−1.32 E-02	±1.40 E-02	−2.52 E-02		−2.53 E-02		−1.17 E-02	±2.79 E-02
−2.55 E-02		−1.53 E-02	±7.39 E-03	−1.59 E-02	±8.17 E-03	−8.95 E-03	±6.61 E-03
−1.48 E-02		−1.35 E-02		−1.23 E-02		−6.39 E-03	±2.16 E-02
−7.80 E-03	±6.21 E-03	−7.95 E-03	±5.75 E-03	−7.96 E-03	±5.73 E-03	−6.73 E-03	±2.03 E-03
−6.51 E-03		−6.34 E-03	±1.58 E-03	−6.28 E-03	±1.63 E-03	−2.82 E-03	±4.31 E-03
−5.46 E-03		−2.81 E-03	±3.34 E-03	−2.67 E-03	±3.29 E-03		
−3.14 E-03	±3.42 E-03						

Tafel 4. Elemente der Bewertungsmatrizen $Q_U = \mathrm{diag}\,(q_{ui})$ und $Q_X = \mathrm{diag}\,(q_{xj})$ für den Entwurf optimaler und suboptimaler Regler

(die nicht angegebenen Elemente in Q_x sind mit 10^{-6} belegt)

Reglerentwurf	Bewertungselement der Modellgröße													
	$x(1)$	$x(2)$	$x(6)$	$x(10)$	$x(12)$	$x(15)$	$x(16)$	$x(18)$	$x(20)$	$x(21)$	$x(22)$	$x(23)$	$x(24)$	$x(25)$
mit I-Anteil	0,5	0,15	0,01	0,01	0,1	80	0,1	0,1	0,1	$8 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	10^{-4}	$5 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$
ohne I-Anteil	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	30	0,2	0,1	0,5					
		$u(1)$	$u(2)$	$u(3)$	$u(4)$	$u(5)$								
mit I-Anteil		6	8	8	3	7								
ohne I-Anteil		0,2	0,4	0,3	0,09	0,05								

entsprechenden Kurven auch bei Vergröberung des Maßstabes um eine Größenordnung nicht darstellbar. Deshalb wurde auf eine Wiedergabe verzichtet. Eine Erklärung für dieses überraschende Ergebnis ist wohl darin zu suchen, daß für das hochgradig multivariable System Dampferzeuger die Lage der Pole allein nicht ausreichend ist für die Charakterisierung des Systems. Hierbei ist bemerkenswert, daß auch solche Polkonstellationen, wie sie mit den übrigen Entwurfsmethoden erzielt wurden, bei dieser Methode nicht zu ausreichendem Zeitverhalten führten. Deshalb muß die unter Abschnitt 2.1.1. beschriebene Entwurfsmethode für den vorliegenden Anwendungsfall als nicht brauchbar eingeschätzt werden.

Hinsichtlich gerätetechnischem Aufwand zur Implementierung des Reglers ist nur ein Vergleich zwischen Zustands- und Ausgangsgrößenreglern sinnvoll. Unter diesem Aspekt verdienen alle vier Methoden des Abschnittes 2.2. den Vorzug gegenüber der optimalen Zustandsgrößenregelung. Da die Ausgangsgrößen die direkt aus dem Prozeß als Messungen bzw. über einfache algebraische stationäre Umrechnungen aus Meßgrößen verfügbare Information bilden, erübrigt sich jede Art eines dynamischen Beobachters, der die fehlenden Zustandsgrößen rekonstruiert. Besonders beim Einsatz analoger Informationsverarbeitungseinheiten ist dieser Aspekt bedeutungsvoll, aber auch bei der Verwendung von Mikrorechnern wird die Informationsverarbeitung nicht durch Zustandsrekonstruktion belastet.

Der rechentechnische Aufwand zur Bestimmung der Regelgesetze ist für die praktische Realisierung von untergeordneter Bedeutung, wenn man die dabei anfallenden Kosten in Relation zu den Hardwarekosten des Regelungssystems setzt. Es ist ausreichend, daß entsprechende Lösungsalgorithmen rechenbereit vorliegen, mit denen der Regler bestimmt wird. Im Rahmen eines größeren von den Autoren entwickelten Programmkomplexes zu Modellbildung, Regelungsentwurf und Simulation ist dieser Sachverhalt gegeben. Trotzdem soll nachfolgend kurz umrissen werden, welche Rechenzeiten an der BESM-6 bei der vorliegenden Problemdimension auftraten. Bei allen beschriebenen Entwurfsmethoden gelangt das MPACK-Programmpaket [19] der BESM-6 Software zum Einsatz, mit dem die elementaren Matrizenoperationen (z. B. Addition, Multiplikation, Transponieren) bei der vorliegenden Systemordnung mit praktisch nicht feststellbarer Rechenzeit ausgeführt werden. Auch die Matrizeninversionen werden bei den gegebenen Formaten und Belegungen ohne nennenswerten Aufwand ausgeführt. Rechenzeitschwerpunkte bilden die Lösung der Riccati- und der Ljapunow-Gleichungen.

In Tafel 5 ist der mittlere CPT-Bedarf für einen Entwurf nach den einzelnen Methoden angegeben. Zur Berechnung eines suboptimalen Ausgangsgrößenreglers nach den Abschnitten 2.2.2.1. und 2.2.2.2. wird vom optimalen Zustandsregler der Ordnung n ausgegangen, insgesamt aber nur geringfügig mehr Rechenzeit als bei dieser Methode benötigt. Wendet man die dritte suboptimale Methode an, kommt man sogar mit weniger CPT aus, da hier nur eine Ljapunow- Gleichung der Ordnung n gelöst werden muß, die Bestimmung des optimalen Zustandsreglers dann nur für das System der Ordnung r erfolgt. Am aufwendigsten ist die Berechnung des optimalen Ausgangsgrößenreglers (Rechenalgorithmus siehe [13]). Es wird zunächst der optimale Zustandsregler der Ordnung n bestimmt. Dann erfolgt die schrittweise Erniedrigung der Dimension des Zustandsvektors bis hin zum Ausgangsvektor. Auf jeder Stufe ist das nichtlineare Problem (8) durch Rückführung auf Ljapunow-Gleichungen zu lösen. Somit sind $(n - r)$ Stufen erforderlich, und auf jeder Stufe werden problemabhängig etwa 4 bis 10 Ljapunow-Gleichungen gelöst.

Legt man Wert auf eine sehr billige Bestimmung des Ausgangsgrößenreglers, so sollte als erstes ein Entwurf mit der im Abschn. 2.2.2.3. beschriebenen Methode vorgenommen werden, während ein optimaler Ausgangsgrößenregler erst dann bestimmt werden muß, wenn mit den suboptimalen Methoden keine befriedigenden Entwurfsergebnisse erzielt werden können.

4. Zusammenfassung und Einschätzung der Ergebnisse

Im Beitrag wurden sechs verschiedene Entwurfsmethoden für Mehrgrößenregler im Zeitbereich auf ein Dampferzeugermodell 20. Ordnung mit 5 Steuergrößen und 9 Ausgangsgrößen angewendet. Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

1. Optimale Zustandsregler verleihen dem geregelten System in vielen Hinsichten (z. B. differenzierte Regelgenauigkeiten wichtiger und unwichtiger Prozeßgrößen, Auslastung der gegebenen Stellmöglichkeiten) sehr günstige Eigenschaften.
2. Für das Regelobjekt wurden mit Polanordnungsmethoden keine Zustandsregler gefunden, die dem System befriedigendes Verhalten verleihen. Deshalb kann diese Methode im gegebenen Anwendungsfall nicht zum Einsatz gelangen.
3. Die Regelergebnisse optimaler und suboptimaler Ausgangsgrößenregler sind im vorliegenden Fall mit denen optimaler Zustandsregler unter praktischen Genauigkeitsforderungen gleichzusetzen.
4. Ausgangsgrößenregler gestatten im Vergleich mit Zustandsgrößenreglern eine einfachere gerätetechnische Implementierung.
5. Der Aufwand zur rechentechnischen Bestimmung suboptimaler Ausgangsgrößenregler und optimaler Zustandsgrößenregler ist etwa gleich groß, während die Ermittlung optimaler Ausgangsgrößenregler mehr Rechenzeit beansprucht.

Tafel 5. Mittlerer CPT-Bedarf der Entwurfsprogramme für Modelle 20. und 25. Ordnung

Entwurfsmethode	CPT [s] bei Modellordnung n	
	$n = 20$	$n = 25$
Polverschiebung (Zustandsregelung)	40	
opt. Zustandsregler	45	65
opt. Ausgangsregler	180	400
subopt. Ausgangsregler I	45	
subopt. Ausgangsregler II	50	
subopt. Ausgangsregler III	35	
Ljapunow-Gleichung	4	5,5

6. Beim Entwurf für das vorliegende Objekt ist deshalb von allen untersuchten Methoden denen der suboptimalen Ausgangsgrößenregelung, insbesondere der mit vorgelagerter Modellreduktion, der Vorzug zu geben.

Literatur

[1] *Unbehauen, H.; Engell, S.:* Anwendung des Mehrgrößen-Nyquist-Verfahrens auf ein Dampferzeugermodell. Regelungstechnik **27** (1979) H. 8, S. 250–259.

[2] *Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:* Modellbildung und Entwurf von Mehrgrößenregelungen für Dampferzeuger. Dissertation A, IH Zittau 1979.

[3] VDI/VDE-GMR: Prozeßmodellkatalog „Mathematische Modelle für das statische und dynamische Verhalten technischer Prozesse". Düsseldorf: VDI-Verlag 1976.

[4] *Fasol, K.-H.:* Theoretical Modelbuilding and Simulation of Industrial Processes. Systems Analysis and Simulation 1980. Band 5. Berlin: Akademie-Verlag 1980.

[5] *Wilfert, H.-H.; Marschner, H.-H.; Hertel, U.:* Experimentelle Identifikation eines 210-MW-Kraftwerksblockes als Mehrgrößenregelstrecke. msr **21** (1978) H. 10, S. 567–572.

[6] *Doležal, R.:* Nichtlineares Modell eines Dampferzeugers. VDI-Berichte Nr. 276 (1977), S. 147–152.

[7] Autorenkollektiv: Kraftwerke 1977. Kap. 6. Düsseldorf VDI-Verlag 1977.

[8] VDI/VDE – Handbuch Regelungstechnik: Abnahme von Regelungen für Dampferzeuger. VDI/VDE 3507.

[9] *Korn, U.; Wilfert, H.-H.:* Mehrgrößenregelungssysteme. Volltexte der Jahrestagung WGMA – Automatisierungstechnik 1976.

[10] *Athans, M.; Falb, P.:* Optimal Control. New York: McGraw Hill 1966.

[11] *Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:* Entwurf optimaler Regelungen für Dampferzeuger mit Hilfe einer Strategie zur Festlegung der Bewertungsmatrizen. msr **22** (1979) H. 4, S. 207–212.

[12] *Levine, W. S.; Athans, M.:* On the determination of the optimal constant output-feedback gains for linear multivariable systems. IEEE Trans. AC **15** (1970) H. 1, S. 44–48.

[13] *Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:* Eine Methode zum Entwurf optimaler Ausgangsgrößenregler und ihre Anwendung am Beispiel eines Dampferzeugers. msr **25** (1982) H. 5, S. 245–248.

[14] *Kosut, R.-L.:* Suboptimal control of linear time-invariant systems subject to control structure constraints. IEEE Trans. AC **15** (1970) H. 5, S. 557 to 563.

[15] *Bingulač, S. P.; Čalović, M. S.; Čuk, N. M.:* The compensation of immeasurable disturbances via optimum output feedback. Int. J. Contr. **19** (1974) H. 5, S. 1005–1020.

[16] *Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:* Vergleich von Entwurfsmethoden für Mehrgrößenregelungen nach den Prinzipien der Zustands- und der Ausgangsgrößenrückführung. 13. Fachkolloquium Informationstechnik der TU Dresden 1980. Vortrag C14.

[17] *Eitelberg, E.:* Low order lumped model of an ocean mining transport pipe. Systems Analysis and Simulation 1980. Band 5. Berlin: Akademie-Verlag 1980.

[18] *Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.:* Ermittlung eines nichtlinearen Modells für große Dampferzeuger. msr **21** (1978) H. 2, S. 73–77.

[19] *Raupach, B.* u. a.: Beschreibung eines Programmsystems zur Verarbeitung von Matrizen – MPACK –. Software-Information Nr. 13 des BESM 6-RZ des IfE Leipzig. Dez. 1970. msr 7600

Dr. sc. techn. *H. Bischoff*, Dresden[1])

Zum Entwurf von Deadbeat-Reglern

IA 2.4.2. 1

0. Einleitung

Die Einführung der Mikrorechentechnik in die neue Generation von Automatisierungsgeräten zwingt u. a. auch zu einer Sichtung und Wertung der bekannten konventionellen und der bisher gewissermaßen auf Vorrat erarbeiteten nichtkonventionellen Regelalgorithmen [1]. Dabei lassen sich die Anforderungen an Entwurfsverfahren, die der neuen Hardwaresituation angepaßt sind, im wesentlichen durch folgende Punkte charakterisieren:

- leichte Berechenbarkeit der Reglerparameter aus den Strecken- und Signalparametern (speziell für den adaptiven Betrieb)
- Berücksichtigung des tatsächlichen Verhaltens diskontinuierlich arbeitender (Mikrorechner-)Regler, falls die Tastzeiten bzw. Rechenzeiten nicht mehr vernachlässigbar klein gegenüber den dominierenden Streckenzeitkonstanten sind
- Gewährleistung von überschaubaren und ingenieurmäßig (z. B. bis hin zum Dialogbetrieb) gut handhabbaren Entwurfs-Freiheitsgraden
- niedrige Reglerordnung
- geringe dynamische Stellgliedbelastung
- Unempfindlichkeit der Regelalgorithmen gegenüber Streckenmodellfehlern bzw. Veränderungen der Streckenparameter (im nichtadaptiven Betrieb)
- weitgehende Übertragbarkeit der Vorgehensweise von Ein- auf Mehrgrößensysteme.

Der bekannteste nichtkonventionelle Algorithmus für Abtastregler, der sich in besonders einfacher Weise aus dem Prozeßmodell ableiten läßt und die eben genannten Forderungen in wesentlichen Punkten erfüllt, ist der sogenannte Deadbeat-Algorithmus [2] bis [11]. Das Grundprinzip besteht darin, die Parameter eines diskontinuierlich arbeitenden Reglers so einzustellen, daß die Übergangsvorgänge der Regelgröße und der Stellgröße nach einem Führungsgrößensprung in einer minimalen Zahl von Abtastschritten bleibend, d. h. auch zwischen den Tastzeitpunkten, beendet sind. Man spricht deshalb auch von Reglern mit endlicher Einstellzeit. Die Struktur des Reglers, d. h. der Zähler- bzw. Nennergrad seiner Übertragungsfunktion, wird dabei während des Entwurfs mitbestimmt.

Der „klassische" Deadbeat-Regler (mit minimaler Schrittzahl nach Führungsgrößensprung) zeigt jedoch in der Regel große Stellamplituden, die zu einer starken Stellgliedbelastung führen. Deshalb werden in neueren Arbeiten, z. B. [5] bis [8], durchweg sogenannte verallgemeinerte Deadbeat-Regler vorgestellt, bei denen über zusätzliche Entwurfsfreiheitsgrade auf Kosten höherer Schrittzahlen die Stell- bzw. Regelgrößenverläufe bestimmten Vorgaben, z. B. Stellgrößenbeschränkungen, besser angepaßt werden können. Die bisherigen Darstellungen zum verallgemeinerten Deadbeat-Regler, insbesondere im z-Bereich, belassen aber insofern noch Lücken, als in den meisten Fällen nur das Führungsverhalten, nicht aber das Störverhalten derartiger Regelkreise untersucht wurde. Im Beitrag wird daher der Versuch unternommen, den Entwurf von verallgemeinerten Deadbeat-Reglern für das Führungs- **und** Störverhalten von einem gemeinsamen Standpunkt aus darzustellen und damit im Sinne einer Vereinfachung zu einer einheitlichen Vorgehensweise für beide Fälle zu gelangen. Hierbei soll aber insbesondere das Störverhalten der Regelkreise stärker als bisher in den Mittelpunkt der Betrachtungen gestellt werden, ohne von Beginn an die Struktur des Streckenmodells besonders einzuschränken.

Deadbeat-Algorithmen sind immer dann vorteilhaft einzusetzen, wenn

– ein Rechnerregler zur Verfügung steht

– die Tastzeiten relativ groß sein dürfen

[1]) Mitteilung aus der TU Dresden, Sektion Informationstechnik, WB Regelungstechnik und Prozeßsteuerung.

– die Reglerparameter schnell berechnet werden müssen (z. B. beim adaptiven Betrieb)
– es auf die Ausregelung vorwiegend sprungförmiger Führungs- oder Störsignale ankommt.

1. Voraussetzungen

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf einen einschleifigen Regelkreis nach Bild 1, der als Regler einen Mikrorechner nutzt. Der Rechner erhält dabei über einen A/D-Wandler zu äquidistanten Zeitpunkten ($t = kT$) abgetastete Regelgrößenwerte und gibt über einen D/A-Wandler ebenso zyklisch Stellgrößenwerte an die Stelleinrichtung aus. Rechenzeiten sollen zunächst vernachlässigbar klein sein. Das mathematische Modell eines derartigen Abtastregelkreises unter Benutzung von z-Übertragungsfunktionen zeigt Bild 2. Einen Deadbeat-Regler zu entwerfen heißt nun, die Reglerübertragungsfunktion $G_R^*(z)$ so zu bestimmen, daß nach einem Führungs- oder Störgrößensprung die Regelgröße $x(t)$ nach k_1 Abtastschritten und die Stellgröße y_R nach k_2 Abtastschritten ihre (evtl. veränderten) stationären Werte angenommen haben (k_1 ist verschieden von k_2 für Strecken mit Totzeit).

$$x(t) = \text{const.} \quad \text{für} \quad t \geqq k_1 T\,, \tag{1a}$$

$$y_R[k] = \text{const.} \quad \text{für} \quad k \geqq k_2\,. \tag{1b}$$

Dabei wird die Reglerstruktur, bis auf den zur Ausregelung sprungförmiger Störungen notwendigen integralen Anteil (Pol bei $z = 1$), zunächst in der Form

$$G_R^*(z) = \frac{t_0 + t_1 z^{-1} + \ldots + t_\nu z^{-\nu}}{(1 - z^{-1})\,(1 + r_1 z^{-1} + \ldots + r_\varrho z^{-\varrho})} = \frac{T(z)}{(1 - z^{-1})\,R(z)} \tag{2}$$

mit den noch zu bestimmenden Polynomen $T(z)$ und $R(z)$ frei angenommen.

Für das Streckenmodell einschließlich Halteglied wird die Übertragungsfunktion in der nach [2] modifizierten Form

$$G_S^*(z, \Delta) = z^{-d}\,\frac{b_0(\Delta) + b_1(\Delta)\,z^{-1} + \ldots + b_n(\Delta)\,z^{-n}}{1 + a_1 z^{-1} + \ldots + a_n z^{-n}} = z^{-d}\,\frac{B(z, \Delta)}{A(z)}\,, \qquad 0 \leqq \Delta \leqq 1\,, \tag{3}$$

angesetzt, die das Streckenverhalten noch in einer den kontinuierlichen Beschreibungsformen adäquaten Weise vollständig (ohne Informationsverlust durch Abtastung) beschreibt. Für die Reglersynthese selbst wird dann allerdings nur die „übliche" nichtmodifizierte Übertragungsfunktion $G_S^*(z, 0) = G_S^*(z)$ benötigt. Weiterhin sollen nur nichtsprungfähige Strecken betrachtet werden.

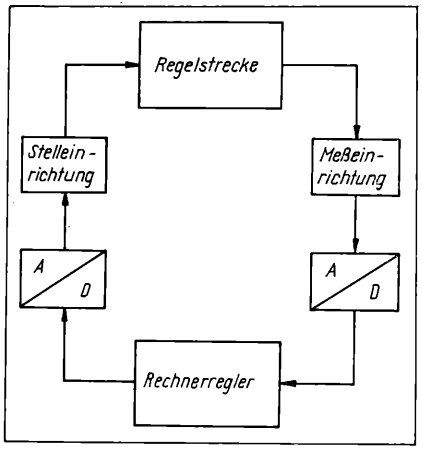


Bild 1. Struktur des betrachteten Regelkreises

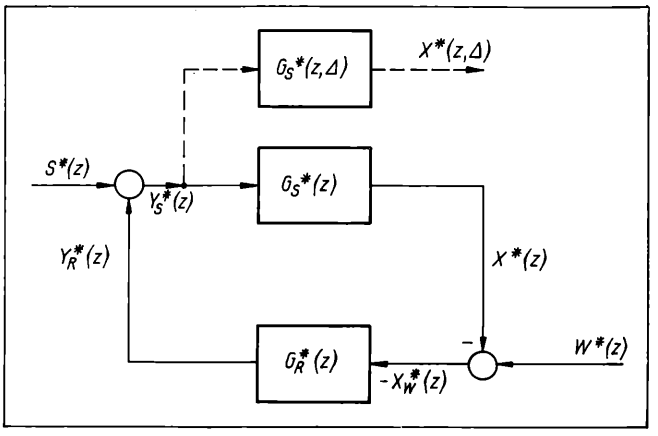


Bild 2. Mathematisches Modell des Abtastregelkreises

x Regelgröße; y_R Stellgröße; s Störgröße; w Führungsgröße; G_S Übertragungsfunktion der Regelstrecke; G_R Übertragungsfunktion der Regeleinrichtung

2. Synthese des Reglers

Mit den eben getroffenen Voraussetzungen lauten die interessierenden Übertragungsfunktionen des Regelkreises

– beim Führungsverhalten

$$\frac{X^*(z, \Delta)}{W^*(z)} = \frac{z^{-d}B(z, \Delta)\,T(z)}{N(z)}\,, \tag{4a}$$

$$\frac{Y_R^*(z)}{W^*(z)} = \frac{A(z)\,T(z)}{N(z)} \tag{4b}$$

– beim Störverhalten

$$\frac{X^*(z, \Delta)}{S^*(z)} = \frac{z^{-d}(1 - z^{-1})\,B(z, \Delta)\,R(z)}{N(z)}\,, \tag{5a}$$

$$\frac{Y_R^*(z)}{S^*(z)} = -\frac{z^{-d}B(z)\,T(z)}{N(z)}\,, \tag{5b}$$

mit dem in allen Fällen gemeinsamen Nenner

$$N(z) = A(z)\,(1 - z^{-1})\,R(z) + z^{-d}B(z)\,T(z)\,. \tag{6}$$

Der Abtastregelkreis nach Bild 2 zeigt entsprechend diesen Beziehungen dann Deadbeat-Verhalten, d. h., die Antworten der Regelgröße x bzw. des Stellsignals y_R auf sprungförmige Führungs- bzw. Störsignale erreichen nach einer endlichen Zahl k_1 bzw. k_2 Abtastschritten auch zwischen den Tastpunkten ihre stationären Werte, wenn alle aufgeführten Übertragungsfunktionen endliche Polynome in z^{-1} darstellen. Das ist aber der Fall, wenn

– der gemeinsame Nenner $N(z)$ gleich Eins ist
– $T(z)$ und $R(z)$ endliche Polynome in z^{-1} sind.

Die Synthesegleichung zur Bestimmung der unbekannten Polynome $T(z)$ und $R(z)$, aus der sich die (z. B. in [6] dargestellten) bekannten Formen verallgemeinerter Deadbeat-Regler ableiten lassen (das soll hier im einzelnen nicht gezeigt werden), lautet demnach:

$$A(z)\,(1 - z^{-1})\,R(z) + z^{-d}B(z)\,T(z) = 1^2)\,. \tag{7}$$

Die Synthesegleichung (7) liefert nur dann als Lösungen endliche Polynome $T(z)$ und $R(z)$, wenn $A(z)\,(1 - z^{-1})$ und $z^{-d}B(z)$ teilerfremd sind, also

[2]) Für den „klassischen" Deadbeat-Regler wurde bereits in [11] eine Gleichung dieser Form aufgestellt.

– $A(z)$ keinen Faktor z^{-d} enthält (durch Gl. (3) gesichert)

– $B(z)$ keinen Faktor $(1 - z^{-1})$ enthält (die Strecke darf kein differenzierendes Verhalten zeigen)

– $A(z)$ und $B(z)$ teilerfremd sind (gleichbedeutend mit der vollständigen Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit des Streckenmodells).

Weiterhin sind nur solche Lösungen technisch interessant, die zu einem stabilen Nennerpolynom des Reglers, also zu einem stabilen Polynom $R(z)$ führen.
Freiheitsgrade können in üblicher Weise in den Entwurf dadurch eingebaut werden, daß z. B. das Polynom $T(z)$ in der Form

$$T(z) = t_0 + t_1 z^{-1} + \ldots + t_{\mu-1} z^{-(\mu-1)} + t_\mu z^{-\mu} + \\ + \ldots + t_\nu z^{-\nu} \tag{8}$$

mit μ frei wählbaren Koeffizienten t_0 bis $t_{\mu-1}$ angesetzt wird. Die Schrittzahlen bis zum Erreichen der stationären Werte der Regelgröße x bzw. der Stellgröße y_R lauten dann bei Störsprung im Tastmoment

$$k_1 = 2(d + n) + \mu \tag{9a}$$

bzw.

$$k_2 = d + 2n + \mu\,. \tag{9b}$$

3. Lösung der Synthesegleichung

Die Synthesegleichung (7) zerfällt durch Koeffizientenvergleich in ein lineares Gleichungssystem

$$\boldsymbol{M}_1 \boldsymbol{v} = \boldsymbol{M}_2 \boldsymbol{t} + \boldsymbol{c}\,, \tag{10}$$

für die gesuchten Reglerparameter t_i $(i = \mu, \ldots, \nu)$ und r_i $(i = 1, \ldots, \varrho)$, dessen Struktur die Tafel zeigt. Überlegungen zur Zahl der nichttrivialen Gleichungen und der zu ermittelnden Unbekannten führen dabei auf die Polynomgrade

$$\nu = n + \mu \tag{11a}$$

und

$$\varrho = d + n - 1 + \mu\,. \tag{11b}$$

Das Zählerpolynom $T(z)$ des Reglers hat damit den Grad $n + \mu$ und das Nennerpolynom $(1 - z^{-1})\,R(z)$ den Grad $d + n + \mu$. Im Mikrorechner müssen dann also mindestens $(d + n + \mu)$ Datenspeicherplätze für den Regelalgorithmus bereitgestellt werden.

Tafel. Struktur des linearen Gleichungssystems

$$\boldsymbol{v} = \begin{bmatrix} r_1 \\ \vdots \\ r_\varrho \\ t_\mu \\ \vdots \\ t_{\mu+n} \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{t} = \begin{bmatrix} t_0 \\ \vdots \\ t_{\mu-1} \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{c} = -\begin{bmatrix} a_1 - 1 \\ a_n - a_{n-1} \\ -a_n \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

dim $\boldsymbol{v} = (\mu + n)$ dim $\boldsymbol{t} = (\mu)$ dim $\boldsymbol{c} = (2n + d + \mu)$

$$\boldsymbol{M}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & & \varrho\text{-te Spalte} \\ \vdots & & \ddots & \downarrow \\ & \ddots & & 1 \\ -a_n & & & \vdots \\ & \ddots & & \\ 0 & & -a_n & \end{bmatrix} \qquad \begin{matrix} (d+\mu+1)\text{-te} \\ \text{Zeile} \\ \downarrow \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & & \\ b_1 & & \\ \vdots & \ddots & \\ b_n & & b_1 \\ & \ddots & \vdots \\ 0 & & b_n \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{M}_2 = -\begin{matrix} (d+1)\text{-te} \\ \text{Zeile} \\ \downarrow \end{matrix} \begin{bmatrix} b_1 & & \\ \vdots & \ddots & \\ b_n & & b_1 \\ & \ddots & \vdots \\ 0 & & b_n \end{bmatrix}$$

dim $\boldsymbol{M}_1 = (2n + d + \mu, 2n + d + \mu)$ dim $\boldsymbol{M}_2 = (2n + d + \mu, \mu)$

4. Algorithmus des Reglerentwurfs

Dis bisher dargestellten Entwurfsschritte lassen sich zu folgendem Algorithmus zusammenfassen:

1. Gewinnung bzw. Bereitstellung des Streckenmodells
2. Festlegung der Zahl der Entwurfsfreiheitsgrade (z. B. $\mu = 2$)
3. Vorgabe der (bei $\mu = 2$) ersten beiden Stellgrößenwerte aufgrund z. B. prozeßspezifischer Forderungen
4. Lösen der Synthesegleichung (7) und damit Berechnung der Reglerparameter
5. Prüfen des Polynoms $R(z)$ auf Stabilität. Bei Instabilität Neustart mit den Schritten 3 oder 2
6. Simulation und Beurteilung der Signalverläufe von x und y_R. Evtl. Neustart mit den Schritten 3 oder 2.

5. Beispiel

Das kontinuierliche Streckenmodell habe beispielsweise die Übertragungsfunktion

$$F_S(p) = \frac{e^{-pT_t}}{(1 + pT_1)(1 + pT_2)} \tag{12}$$

mit den Parametern

$$\frac{T_1}{T} = 2\,, \qquad \frac{T_2}{T} = 1\,, \qquad \frac{T_t}{T} = 1\,.$$

Die korrespondierende modifizierte z-Übertragungsfunktion (unter Beachtung des Haltegliedes 0-ter Ordnung am Streckeneingang) lautet dann:

$$G_S^*(z) = z^{-1} \frac{b_0(\Delta) + b_1(\Delta)\, z^{-1} + b_2(\Delta)\, z^{-2}}{1 - 0{,}97 z^{-1} + 0{,}22 z^{-2}} \tag{13}$$

mit

$$b_0 = e^{-\Delta} - 2e^{-0{,}5\Delta} + 1\,,$$

$$b_1 = 2{,}74 e^{-0{,}5\Delta} - 1{,}61 e^{-\Delta} - 0{,}97\,,$$

$$b_2 = 0{,}61 e^{-\Delta} - 0{,}74 e^{-0{,}5\Delta} + 0{,}22\,.$$

Beim Entwurf sollen zwei Freiheitsgrade ($\mu = 2$) eingesetzt werden. Aus der Gl. (5b) folgt dann bei sprungförmiger Störung die Beziehung

$$\begin{bmatrix} t_0 \\ t_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{b_1} \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 1 + \dfrac{b_2}{b_1} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_R[2] \\ y_R[3] \end{bmatrix} \tag{14}$$

mit $y_R\,[2]$ und $y_R\,[3]$ als den ersten beiden während des Regelvorganges wirksamen Stellgrößen. Die zwei frei wählbaren Größen t_0 und t_1 sollen hier durch die Vorgabe dieser beiden ersten Stellgrößenwerte $y_R\,[2]$ und $y_R\,[3]$ festgelegt werden (eine von mehreren Möglichkeiten [7] und [8]). Diese Festlegung kann z. B. im Hinblick auf ein angemessenes Führungsverhalten des Kreises getroffen werden, da aus der (betragsmäßigen) Übereinstimmung der Gln. (4a) und (5b) für $\Delta = 0$ folgt, daß die beiden frei zu wählenden Stellgrößenwerte in den Tastmomenten den (negativen) Regelgrößenwerten bei Führungssprung gleichen. So kann trotz Entwurf auf Störverhalten das Führungsverhalten des Regelkreises mit in die Überlegungen einbezogen werden. Wird hier beispielsweise die Wahl

$$y_R\,[2] = -0{,}8$$

und

$$y_R\,[3] = -1{,}3$$

getroffen, dann liefert die Lösung der Synthesegleichung (7) die Reglerübertragungsfunktion

$$G_R^*(z) = \\ = \frac{5 + 0{,}31 z^{-1} + 0{,}26 z^{-2} - 2{,}26 z^{-3} + 0{,}69 z^{-4}}{(1 - z^{-1})(1 + 1{,}97 z^{-1} + 1{,}89 z^{-2} + 1{,}10 z^{-3} + 0{,}28 z^{-4})} \tag{15}$$

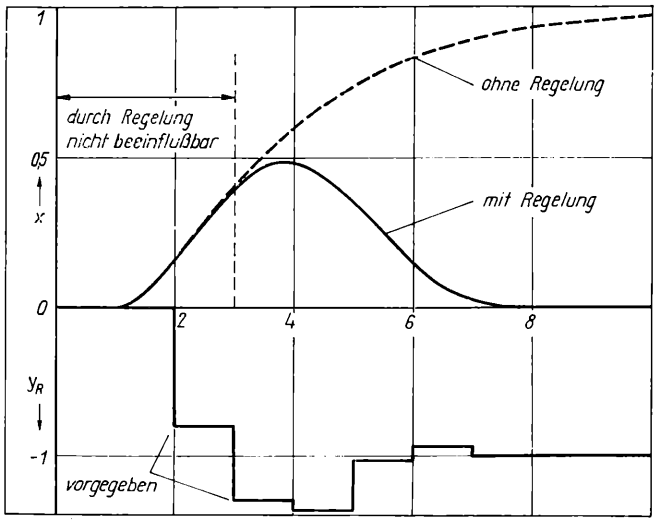


Bild 3. Störsprungantworten der Regelgröße x und der Stellgröße y_R

mit den Polen

$$z_1 = 1 \text{ (Integrator)}$$

$$z_{2,3} = -0{,}69 \pm j0{,}06$$

$$z_{4,5} = -0{,}30 \pm j0{,}71$$

und damit auch einen stabilen Regler.

Bild 3 zeigt die Übergangsvorgänge der Regelgröße x bzw. der Stellgröße y_R für den Fall einer sprungförmigen Störeinwirkung zu Beginn des Tastintervalls (worst case). Dabei zeigt der Stellgrößenverlauf ein akzeptables Führungssprungverhalten des Regelkreises an. Die Schrittzahlen bis zur Beendigung der Übergangsvorgänge betragen hier $k_1 = 8$ und $k_2 = 7$.

6. Schlußbemerkungen

Die angegebene Vorgehensweise zum Entwurf verallgemeinerter Deadbeat-Regler zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- der Entwurf erfordert die Lösung eines linearen Gleichungssystems $(2n + d + \mu)$-ter Ordnung sowie die Stabilitätsanalyse eines Polynoms $(n - 1 + d + \mu)$-ten Grades
- der entworfene Regler zeigt sowohl Stör- als auch Führungs-Deadbeat-Verhalten für eine bestimmte Klasse von Signalen
- die vorgebbaren Freiheitsgrade können z. B. zur Stellgrößenbeschränkung (aber anders als im Sinne von [12]) herangezogen werden
- nicht vernachlässigbare Reglertotzeiten können als Streckentotzeiten interpretiert und so berücksichtigt werden
- das Verfahren eignet sich für den Dialogbetrieb
- bei Mehrgrößensystemen treten in der Synthesegleichung formal Polynommatrizen an die Stelle der Polynome.

Die weiteren Arbeiten richten sich schwerpunktmäßig auf

- die Realisierung und weitere Erprobung des Verfahrens speziell im Hinblick auf die eingangs genannten Anforderungen
- die Übertragung der Vorgehensweise auf Mehrgrößensysteme unter Berücksichtigung der Realisierungsmöglichkeiten auf einem Programmier-, Service- und Inbetriebnahmegerät für Mikrorechnerregler [13].

Literatur

[1] *Töpfer, H.:* Wechselbeziehungen zwischen Theorie, Gerätetechnik und Anlagenprojektierung. rt **27** (1979) H. 1, S. 12–18.

[2] *Ragazzini, J. R.; Franklin, G. F.:* Sampled-Data Control Systems. New York/Toronto/London: McGraw-Hill Book Company, Inc. 1958.

[3] *Lindorff, D. P.:* Theory of Sampled-Data Control Systems. New York/London/Sydney: John Wiley & Sons, Inc. 1965.

[4] *Ackermann, J.:* Abtastregelung. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1972.

[5] *Isermann, R.:* Digitale Regelsysteme. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1977.

[6] *Arndt, G.:* Entwurf eines zeitdiskreten Reglers mit endlicher Einstellzeit im z-Bereich. rt **28** (1980) H. 2, S. 57–60.

[7] *Zimmermann, R.:* Dead-beat-Regelalgorithmen für Mikroprozessorregler. msr **23** (1980) H. 2, S. 68–73.

[8] *Janiszowski, K.:* Verallgemeinerte Dead-beat-Regler. msr **24** (1981) H. 2, S. 70–74.

[9] *Schumann, R.:* Various Multivariable Computer Control Algorithms for Parameter-Adaptive Control Systems. IFAC Symposium on CAD of Control Systems. Zürich: August 1979.

[10] *Jordan, D.; Korn, J.:* Deadbeat Algorithms for Multivariable Process Control. IEEE Transactions on AC, Vol AC-**25** (1980) No. 3, S. 486–491.

[11] *Kondo, B.; Iwai, S.; Soga, M.:* Finite Settling-time Response in Sampled-Data Control Systems with Saturation. Proceedings of the First IFAC Congress, Moscow 1960. London: Butterworth 1961, Vol. I, S. 305–310.

[12] *Desoer, C. A.; Polak, E.; Wing, J.:* Theory of Minimum Time Discrete Regulators. Proceedings of the Second IFAC Congress Basle, 1963. London und München: Butterworth und R. Oldenbourg Verlag, Vol. II, S. 135–141.

[13] *Rieger, P.:* Anforderungen an ein Programmier-, Service- und Inbetriebnahmegerät für einen freiprogrammierbaren Mikrorechnerregler. msr **24** (1981) H. 12, S. 699–702.

msr 7616

Dr.-Ing. *R. Vetter*, Leipzig[1])

Entwicklung eines Flächenmassemeßgerätes zur Messung statischer und dynamischer Parameter im Druckprozeß

IA 3.2.1.

0. Einleitung

Die Kenntnisse über die Einflußgrößen und inneren Zusammenhänge der Prozeßparameter sind für die Automatisierung der Druckprozesse noch unbefriedigend. Ein Grund kann in der ungenügend zur Verfügung stehenden Meßtechnik gesehen werden. Insbesondere fehlen Meßeinrichtungen, die dynamische Vorgänge kontinuierlich erfassen und möglichst vielseitig eingesetzt werden können.

Der internationale Trend, auf der Grundlage der theoretischen und experimentellen Prozeßanalyse über die Aufstellung und Erprobung von Prozeßmodellen zu einem höheren Automatisierungsgrad zu gelangen, ist zwangsläufig mit der Entwicklung und dem Einsatz geeigneter Meßverfahren und Einrichtungen verbunden.

Die Forderungen an eine Meßeinrichtung für die Farb- und Feuchtemitteldicke im Übertragungssystem ergeben sich aus den prozeßspezifischen Bedingungen.

Bei einigen bekannten Meßeinrichtungen [1] und [3] führte dies zu einer Spezialisierung und damit zu begrenzten Einsatzmöglichkeiten.

Die wichtigsten Anforderungen, denen die Meßeinrichtung genügen muß, sind

- kontinuierliche Messung der dynamischen Änderung der Farb- und Feuchtemitteldicke unter den variablen Bedingun-

[1]) Mitteilung aus der Technischen Hochschule Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen.

gen des Druckprozesses im Farbwerk, Feuchtwerk und auf der Druckform
- rückwirkungsfreies Arbeiten des Meßwertaufnehmers
- kleine Abmessungen und geringe mechanische Empfindlichkeit
- anpassungsfähig an die jeweiligen dynamischen Prozeßbedingungen.

Diese Forderungen bedingen, daß nur solche Meßverfahren angewendet werden können, bei denen das Meßsignal durch eine Korpuskel- oder Wellenstrahlung abgebildet wird.
Die bekannten Prototypen, die mit Licht im sichtbaren Bereich oder im Infrarotbereich [2] [4] und [5] arbeiten, sind nur für Farbe oder Wasser unter spezifischen Betriebsbedingungen einsetzbar. Insbesondere bei der Kalibrierung und der Reproduzierbarkeit der Meßwerte genügen diese Prototypen den modernen Anforderungen meist nicht. Außerdem sind diese Meßeinrichtungen für die in zunehmendem Maße angewendeten alkoholischen Feuchtemittel nicht geeignet.
Gegenüber diesen optischen Meßverfahren hat das Prinzip der Beta-Rückstreuung u. a. den Vorteil, daß die Absorption von der Flächenmasse bestimmt wird. Veränderungen der Oberfläche oder der optischen Eigenschaften, z. B. durch Temperatur, sind bei diesem Meßverfahren nicht von Bedeutung.
Bereits vor mehr als 10 Jahren wurden Messungen nach diesem Verfahren an Druckmaschinen durchgeführt [5] bis [8].
Allerdings konnten mit den verwendeten Meßeinrichtungen und Strahlenquellen weder die erforderlichen Empfindlichkeiten noch die dynamischen Forderungen realisiert werden. Durch die Entwicklung moderner elektronischer Bauelemente und optimale Ausnutzung der physikalischen Gesetzmäßigkeiten wurde es möglich, eine Flächenmassemeßeinrichtung zu entwickeln, womit die gegenwärtigen Forderungen erfüllt werden können.

1. Möglichkeiten und Grenzen des Beta-Rückstreuverfahrens bei der Messung der Flächenmasse von Farbe oder Feuchtmittel im Druckprozeß

1.1. Meßempfindlichkeit

Definiert man die Empfindlichkeit als relative Änderung der Rückstreuintensität in Abhängigkeit von der Änderung der Farb- oder Feuchtmitteldicke

$$E = \left.\frac{\Delta I_r/I_r}{\Delta s_1}\right|_{s_1;\,s_2}, \tag{1}$$

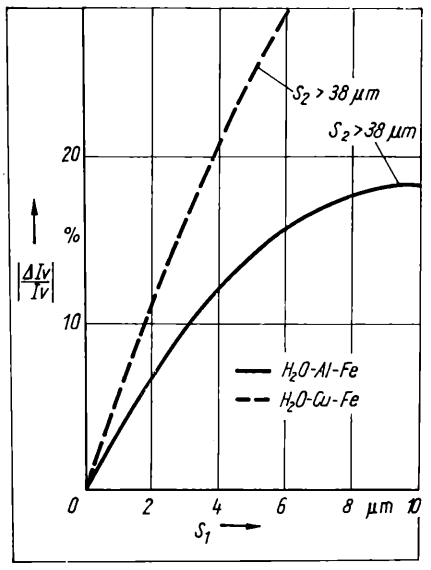
so gilt diese Beziehung zunächst nur für eine bestimmte Änderung von s_1 bei konstanter Schichtdicke s_2 des Trägermaterials. In [9] wurde nachgewiesen, daß der Zusammenhang zwischen Intensitätsänderung und Schichtdicke nichtlinear ist.
Entsprechend dem Energiespektrum der β-Rückstreuung kann jedoch für bestimmte Änderungsbereiche der Schichtdicke bei vorgegebenen Fehlergrenzen linearisiert werden.
Liegt ein Rückstreuer vor, bei dem mehrere Schichten mit unterschiedlichen Massenzahlen die Rückstreuintensität beeinflussen, können nur in speziellen und genau bekannten Fällen Aussagen über Flächenmasseänderungen der Auftragsschicht gemacht werden. Kann jedoch von einer konstanten Rückstreuintensität (Sättigung) des Trägermaterials ausgegangen werden und sind die Massenzahlen von Trägermaterial und Auftragsschicht hinreichend zu unterscheiden, dann sind, bezogen auf Bedingungen des Offsetdruckprozesses, nachstehende Empfindlichkeiten erreichbar (Bild 1)

Wasser auf Aluminium $\quad E = 3{,}3\,\frac{\%}{\mu m} \pm 10\%$

Wasser auf Kupfer $\quad E = 5{,}2\,\frac{\%}{\mu m} \pm 10\%$

Wasser auf Chrom $\quad E = 4{,}3\,\frac{\%}{\mu m} \pm 10\%.$

Bild 1. Relative Intensitätsänderung für Wasser auf Kupfer und Aluminium bei Sättigung



Diese Werte wurden mit einem ^{14}C-Isotop gemessen. Sie gelten für einen linearisierten Bereich der Intensitätsänderung in Abhängigkeit von der Schichtdicke 0,5 g/m² bis 5 g/m².

1.2. Meßfehler

Der Fehler des Meßergebnisses wird bei Verwendung eines ^{14}C-Isotops im wesentlichen durch die Veränderung der Rückstreubedingungen, insbesondere der Absorption außerhalb des Meßobjektes, durch die Statistik und die Auflösung der Meßeinrichtung bestimmt. Für eine gegebene Meßanordnung wurde in [10] nachgewiesen, daß nur die Dichteänderung der Luft im Raum zwischen Detektor und Rückstreuer einen nicht eliminierbaren Einfluß hervorruft, der jedoch bei hinreichend kleinem Abstand ($\leqq$ 5 mm) vernachlässigbar wird.
Nimmt man aufgrund bekannter Gesetzmäßigkeiten für das Meßsignal eine Normalverteilung an

$$d = (\bar{n} \cdot t_M)^{-1/2} \tag{2}$$

$\bar{n}$ mittlere Impulsdichte; t_M Meßzeit
und für die Auflösung der Meßeinrichtung eine Poisson-Verteilung

$$l = \bar{n} \cdot t_A \cdot e^{-\bar{n} \cdot t_A} \tag{3}$$

t_A Auflösungszeit,

so kann man unter Berücksichtigung des Übergangsverhaltens der Meßeinrichtung näherungsweise den Zusammenhang zwischen Meßzeit und Auflösung abschätzen

$$t_M \approx 2{,}6 \cdot t_A/h^3, \tag{4}$$

$$h = (d^2 + l^2)^{1/2}. \tag{5}$$

Bei einer Auflösung $t_A \geqq 10^{-7}$ s und einem absoluten Fehler $\leqq$ 0,5 g/m² werden Meßzeiten von $t_H \geqq 30$ ms erreicht. Neben der Auflösung der Meßeinrichtung ergeben sich die Grenzen zur Messung der dynamischen Prozeßgrößen aus der erreichbaren Rückstreuintensität der β-Strahlenquelle.

1.3. Meßwertaufnehmer

Die Strahlenquelle und Detektoreigenschaften bestimmen in Verbindung mit der geometrischen Anordnung die Rückstreuintensität. Optimale Verhältnisse bekommt man bei einer kreisringförmigen Strahlenquelle und Anordnung des verwendeten Halbleiterdetektors nach Bild 2.
Eingehende Untersuchungen bei der Entwicklung der Strahlenquelle ergaben, daß Selbstabsorption und Abmessung der Strahlenquelle die Ausbeute bei der eingesetzten ^{14}C-Verbindung be-

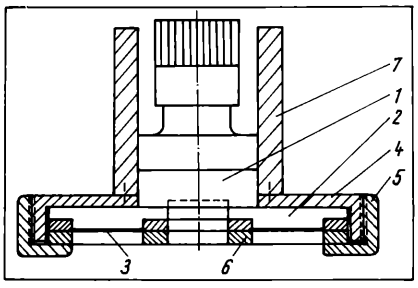


Bild 2. Meßwertaufnehmer ohne Kühleinrichtung

1 Halbleiterdetektor; 2 Präparateträger (Ms); 3 aktive Schicht (mit Al-Folie hermetisch abgedeckt); 4 Präparatehalterung (St); 5 Überwurfmutter; 6 Spannringe (Ms); 7 Kühlkörper (St) (Bei Transport bzw. Lagerung wird das Präparat mit einer Schutzkappe abgedeckt.)

grenzen [11]. Es konnte nachgewiesen werden, daß unter den gegebenen Bedingungen Rückstreuintensitäten größer $10^5\ s^{-1}$ nicht erreichbar sind.

2. Aufbau der Meßeinrichtung

Der prinzipielle Aufbau ist im Bild 3 dargestellt. Die Meßeinrichtung enthält einen Analogteil zur Verstärkung und Diskriminierung der Detektorimpulse sowie einen Digitalteil zur Steuerung des zeitlichen Ablaufes der Meßvorgänge und der nachgeschalteten Recheneinrichtung. Zum Analogteil gehört der prinzipiell mit dem Halbleiterdetektor eine Einheit bildende Vorverstärker. Über ein Kabel gelangen die Meßsignale in das Hauptgerät, wo sie erneut verstärkt, diskriminiert, geformt und im Digitalteil entsprechend der vorgegebenen Meßtechnologie ausgewertet werden. Das Hauptgerät besteht aus einem EGS-Einschub der Nenngröße 120 mm × 240 mm × 300 mm und ist gemeinsam mit der Stromversorgungseinheit in einem Einschubrahmen untergebracht. Die Bedienung des Gerätes ist einfach und übersichtlich. Neben dem On-line-Betrieb mit einem Kleinrechner sind auch andere Betriebsarten möglich. Alle Ausgabegeräte mit dualem Interface sind prinzipiell anschließbar. Ein eingebauter schneller D/A-Wandler erlaubt auch den Anschluß entsprechender Analoggeräte.
Die duale Zähl- und Ausgabekapazität beträgt 20 bit, wovon jedoch nur 14 bit zur Weiterverarbeitung genutzt werden. Parallel dazu wird eine 6stellige Dezimalzahl angezeigt.
Weitere Eigenschaften der Meßeinrichtung sind:

- Hohe Auflösung (besser als 10^{-7} s)
- Summierung oder Differenzbildung der Meßwerte
- Meßzeitvorwahl (1 ms (1 ms) 999 ms)
- Meßzyklenvorwahl
- Hand -oder Automatiksteuerung
- Nachweisempfindlichkeit bei 20 °C kleiner als 15 keV.

Diese Eigenschaften ermöglichen die Wahl unterschiedlicher Meßtechnologien und damit einen breiten Einsatzbereich. Der besondere Schwerpunkt liegt dabei auf der Messung von dynamischen Vorgängen im Millisekundenbereich.

3. Meßtechnologie

Die Auswahl der Meßtechnologie und der Informationsverarbeitung wird von der Art des Prozesses und den auftretenden Störungen bestimmt. Dabei können die auf den technologischen Prozeß einwirkenden Störungen auf Fehler bei der Informationsgewinnung und Verarbeitung beruhen oder ihre Ursache im technologischen Prozeß selbst haben. Durch geeignete Software des an die Meßeinrichtung angeschlossenen Rechners ist es möglich, derartige Fehler oder Störungen hinlänglich zu kompensieren. Das zunächst im Vordergrund stehende Einsatzgebiet der Meßeinrichtung ist die Messung der Änderung von Farb- und Feuchtedicken in Druckwerken bei Geschwindigkeiten bis 5 m/s.
Aufgrund der Übertragungseigenschaften bei Offsetdruckwerken wird eine Qualitätsänderung des Druckerzeugnisses infolge einer Farbschichtdickenänderung erst nach einer Anzahl von Drucken sichtbar.
Daraus ergibt sich die Möglichkeit, verschiedene Meßzyklen aufzubauen.
Ist z. B. eine Mittelung über mehrere Umdrehungen der Druckform möglich, können für die Einzelmessung je Druck sehr kurze Meßzeiten verwendet werden. Die erfaßten Meßfelder sind dann klein. Außerdem ist es möglich, mehrere Messungen je Umdrehung an verschiedenen Stellen durchzuführen. Mit Hilfe der wählbaren Zyklenzahl sind optimale Adaptionen an den Prozeß gegeben.
Soll eine Aussage über die absolute Schichtdickenänderung gemacht werden, müssen die Bezugswerte vorher ermittelt werden.
Ist es möglich, eine Eichkurve aufzunehmen, bedeutet bei feststehender Geometrie die jeweils ausgewiesene Intensität der Rückstreuung ein Maß für die absolute Schichtdicke. Oft ist eine Aussage über die relative Schichtdickenänderung bereits ausreichend, so daß auf eine Kalibrierung der Meßeinrichtung verzichtet werden kann. Durch die Möglichkeit, gleichzeitig vergleichbare Messungen, z. B. an verschiedenen Stellen der Druckform, machen zu können, ist über eine automatische Differenzenbildung eine Aussage zur Schichtdickenänderung in einem Bildfeld gegeben.

4. Meßwertverarbeitung

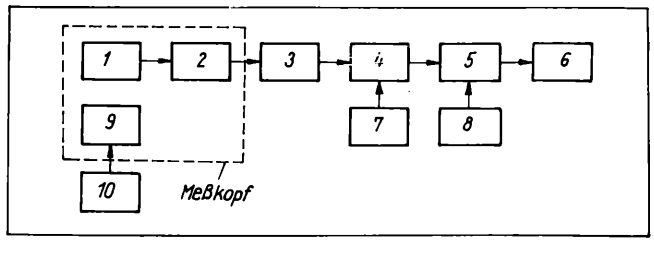
Zur automatischen Meßwertverarbeitung im Echtzeitbetrieb wird die Meßeinrichtung direkt mit einem Prozeßrechner oder Mikrorechner gekoppelt.
Günstig ist dabei die Anwendung des in [12] und [13] beschriebenen Verfahrens mit adaptiver Zeitkonstante in einer auf die jeweilige Technologie zugeschnittenen modifizierten Form.
Daraus ergeben sich im wesentlichen folgende Vorteile:

1. Die Meßwertverarbeitung wird automatisch der Prozeßdynamik angepaßt.
2. Kurzzeitige Schwankungen der Einzelmeßwerte sowie Prozeßstörungen, die außerhalb des wählbaren Bereiches der statistischen Sicherheit liegen, werden eingeglättet.
3. Der Mittelwert wird „gleitend" dem Prozeß nachgeführt.
4. Der statistische Fehler wird automatisch verringert, insbesondere dann, wenn die Einschwingzeit des Prozesses groß gegenüber der Elementarmeßzeit ist.

Die unmittelbare Kopplung mit einem Prozeßrechner oder Mikrorechner erlaubt verschiedene Auswerteverfahren. Im Hinblick auf die im Vordergrund stehende Anwendung der Meßeinrichtung kann mit einem fest programmierten System gearbeitet werden, dessen Kernstück die „gleitende" Mittelwertsberechnung und aktuelle Standardabweichung ist.
Die einfachste Art sieht vor, daß aus einem aus N-Werten gebildeten Mittelwert der jeweils älteste Meßwert mit dem Faktor

Bild 3. Prinzipieller Aufbau der Meßeinrichtung

1 Detektor; 2 Vorverstärker; 3 Verstärker und Diskriminator; 4 Vor-Rück-Zähler; 5 Mikrorechner; 6 Drucker; 7 Steuerung; 8 Auswertungsprogramm; 9 Kühleinrichtung; 10 Temperaturregelung



$1/N$ bewertet und durch den aktuellen Meßwert ersetzt wird.

$$M^{(0)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} a_1 , \tag{6}$$

$$M^{(1)} = M^{(0)} - \frac{a_1}{N} + \frac{a_{N+1}}{N} , \tag{7}$$

$$\vdots$$

$$M^{(n)} = M^{(n-1)} - \frac{a_n}{N} + \frac{a_{N+n}}{N} . \tag{8}$$

Diese Art der gleitenden Mittelwertsbildung erfordert jedoch, daß alle zur Mittelung herangezogenen Werte gespeichert werden, um sie systematisch überschreiben zu können. Damit ergibt sich eine Begrenzung auf solche Prozesse, bei denen nur eine bekannte Zahl von Elementarmeßwerten anfällt bzw. die Rechenzeit unbedeutend ist.

Bei Druckprozessen kommt es besonders darauf an, eine unbestimmte Zahl von Elementarmeßwerten innerhalb kurzer Zeit zu verarbeiten, zu verdichten, Störungen zu erkennen und zu filtern sowie den aktuellen Fehler anzugeben. Je Umdrehung der Druckform erhält man, bezogen auf einen festgelegten Meßort, einen Originalmeßwert a_i. Die Streuung dieser Meßwerte wird dadurch verringert, daß man aus einem zunächst gebildeten Mittelwert $M^{(n-1)}$ und dem aktuellen Meßwert a_1 einen neuen Mittelwert $M^{(n)}$ berechnet.

Diese Berechnung wird solange durchgeführt, wie der Einzelmeßwert a_1 innerhalb eines vorgegebenen Intervalls liegt.

$$M^{(n-1)} \pm KA^{(n-1)} \tag{9}$$

K: Wählbare statistische Sicherheit

A: Standardabweichung

Es gilt:

Für den aktuellen Mittelwert:

$$M^{(n)} = \left((n-1)\, M^{(n-1)} + a_n\right) \cdot \frac{1}{n} . \tag{10}$$

Für die zugehörige Streuung:

$$S^{(n)} = \sum_{i=1}^{n} (a_1 - M^{(n)})^2 . \tag{11}$$

Für die Standardabweichung:

$$A^{(n)} = \left(S^{(n)}/n(n-1)\right)^{1/2} . \tag{12}$$

Da jedoch beim On-line-Betrieb diese Werte unmittelbar mit dem jeweils aktuellen Meßwert berechnet werden müssen, wurde unter Verwendung von

$$M^{(n-1)} = \frac{M^{(n)}n - a_n}{n-1} , \tag{13}$$

$$S^{(n-1)} = \sum_{i=1}^{n-1} (a_1 - M^{(n-1)})^2 \tag{14}$$

abgeleitet:

$$S^{(n)} = S^{(n-1)} + (a_n - M^{(n)})^2 \frac{n}{n-1} . \tag{15}$$

Diese Gleichung erlaubt die unmittelbare Berechnung der aktuellen Standardabweichung des aktuellen Mittelwertes aus der alten Standardabweichung und dem aktuellen Meßwert. Liegt der aktuelle Elementarmeßwert a_n nicht im Intervall von Gl. (9), dann wird eine neue Mittelwertbildung begonnen. Der alte Mittelwert wird jedoch weitergeführt.

Liegt der nun folgende Elementarmeßwert a_{n+1} ebenfalls außerhalb dieses Intervalls, dann wird ein neuer Mittelwert $M_1^{(n)}$ und die neue Standardabweichung $A_1^{(n)}$ berechnet.

$$M_1^{(n)} = (a_n + a_{n+1})/2 , \tag{16}$$

$$A_1^{(n)} = \left(S_1^{(n)}/n(n-1)\right)^{1/2} . \tag{17}$$

Überlappen sich die Bereiche

$$M^{(n-1)} \pm K \cdot A^{(n-1)} ,$$

$$M_1^{(n)} \pm K \cdot A_1^{(n)} , \tag{18}$$

dann wird mit den Werten a_n und a_{n+1} die alte Mittelwertbildung fortgesetzt.

Im anderen Fall wird die dem bisherigen Mittelwert $M^{(n)}$ und der Standardabweichung $S^{(n)}$ entsprechende Schichtdicke D und der zugehörige mittlere Fehler F ausgedruckt.

Dieser Ausdruck ist damit gleichzeitig das Ergebnis einer Meßwertverdichtung und der Hinweis auf eine erfolgte Veränderung.

Falls der Meßwert a_{n+1} innerhalb des Intervalls (9) liegt, wird die Mittelwertbildung unter Negierung des Wertes a_n fortgesetzt.

Damit bietet diese Art der Meßwertverarbeitung den Vorteil, daß neben der Meßwertverdichtung der statistische Fehler verringert wird und im wesentlichen nur statistisch gesicherte Werte zur Ergebnisbildung führen.

Die Berechnung der Schichtdicke D in μm und des Fehlers F erfolgt unter Verwendung der Empfindlichkeit E nach Gl. (1).

$$D = \frac{M^{(n)} - M_1^{(n)}}{E \cdot M^{(n)}} \cdot 100\% , \tag{19}$$

$$F = \frac{\left((A^{(n)})^2 + (A_1^{(n)})^2\right)^{1/2}}{M^{(n)} - M_1^{(n)}} \cdot 100\% . \tag{20}$$

Die Verarbeitungszeit bei einem 14-bit-Meßwert mit einem Singleboard-Rechner, der einen Z-80-Baustein als CPU enthält, liegt bei einigen Millisekunden.

Zusammenfassung

Vorgestellt wurde eine Flächenmassemeßeinrichtung hoher Auflösung, die zur Bestimmung zeitlich veränderlicher Prozeßgrößen mit großer Empfindlichkeit geeignet ist. Die Probleme, die besonders im Zusammenhang mit Untersuchungen im Druckprozeß auftreten, werden kurz diskutiert.

Darüber hinaus wurde diese Meßeinrichtung so konzipiert, daß auch ein breiter Einsatz bei ähnlichen Meßproblemen möglich ist.

Literatur

[1] *Ruder, R.:* Methoden und Verfahren zur Bestimmung von Farbschichtdicken. WZ der TH Karl-Marx-Stadt **IV** (1962) H. 4, S. 343 und 344.

[2] *Rech, H.:* Messung der Farbschichtdicke auf den Walzen einer Versuchsmaschine. Zwischenbericht des Technischen Ausschusses der Forschungsgemeinschaft Druckmaschinen e. V. Darmstadt 1965, S. 1–16.

[3] *Plog, M.:* Schichtdickenmeßverfahren und Geräte. Galvanotechnik **56** (1965) H. 5/6, S. 66–71.

[4] *Babe, K.:* Dynamische Messung des Feuchtfilms auf Offsetdruckplatten. IPM-Mitt. (1966) S. 255–259.

[5] *Sitzler, H.:* Beitrag zur Messung von Schichtdicke und Dichte mit Hilfe von β-Strahlung. Dissertation, TH Karlsruhe 1965.

[6] *Thümmel, H.-W.:* Farbschichtdickenmessungen an Buchdruckmaschinen mittels β-Rückstreuung. Isotopentechnik **1** (1960/61) H. 5/6, S. 133.

[7] *Frick, R.; Hofmann, D.:* Entwicklung eines Verfahrens zur Messung von Flüssigkeitsschichtdicken mittels β-Rückstreuung, dessen Erprobung bei Farb- und Feuchtwerken. Dissertation, TH Karl-Marx-Stadt 1968.

[8] *Tietze, W.; Fiedler, R.:* Ermittlung von Prozeßkenngrößen zum Farb-Feuchtmittel-Verhältnis. IGT Dresden, Forschungsbericht 1971.

[9] *Vetter, R.:* Untersuchungen zur Empfindlichkeit der β-Rückstreumethode bei der Messung dünner Auftragsschichten mit einem ^{14}C-Spezialpräparat. Isotopenpraxis **13** (1977) H. 11, S. 380–383.

[10] *Vetter, R.:* Entwicklung und Erprobung einer Meßeinrichtung zur kontinuierlichen Messung von dynamischen Flächenmasseänderungen bei Druckprozessen. Dissertation A TH Leipzig 1980.

[11] *Vetter, R.:* Entwicklung einer ^{14}C-Strahlenquelle hoher Aktivität zur Messung von dynamischen Flächenmasseänderungen nach dem Rückstreuprinzip. Isotopenpraxis **18** (1982) (in Vorbereitung).

[12] *Seifart, M.*, u. a.: Erfassung schneller Meßgutschwankungen bei Konzentrations- und Flächenmassemessungen mittels radiometrischer Methoden. msr ap **18** (1975) H. 7, S. 163–165.

[13] *Drewitz, H.; Heinze, G.; Semrau, H.:* Über einige Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten der stochastischen Meßtechnik unter besonderer Berücksichtigung des Nachweises schneller Meßgutschwankungen durch Kernstrahlungsmeßeinrichtungen. Dissertation A. TH Magdeburg 1974.

msr 7598

Dipl.-Math. *A. Prautsch*, Borna[1])

Algorithmus für die Berechnung von Segmentblenden

0. Einleitung

Segmentblenden werden für besonders extreme Bedingungen verwendet, da sie sehr schmutzunempfindlich sind. Bei staubhaltigen Gasen oder schlammhaltigen Flüssigkeiten liegt der Meßquerschnitt unten, um den Rohrquerschnitt nicht mit Staub oder Schlamm zu verengen. Bei gashaltigen, schäumenden Flüssigkeiten dagegen liegt der Meßquerschnitt oben. Entsprechend der Notwendigkeit des Einsatzes von Segmentblenden wurden viele Untersuchungen für die Bereitstellung verschiedener Dimensionierungsunterlagen notwendig. Zur Erarbeitung eines einheitlichen Algorithmus wurden aus der Literatur analytische Beziehungen übernommen oder, soweit erforderlich, selbst abgeleitet. Der Algorithmus muß erlauben, bei gegebenem Durchfluß die Segmentblende oder bei gegebener Segmentblende den Durchfluß zu berechnen. Im Bild 1 ist die Prinzipskizze der Messung angegeben.

1. Grundlagen

1.1. Geometrische Beziehungen

Im Bild 2 ist eine Segmentblende schematisch abgebildet. Mit den dort angegebenen und erklärten Symbolen gilt für die Fläche F:

$$F = D^2 \cdot (\varphi - \sin\varphi)/8 \,. \tag{1}$$

Für das Öffnungsverhältnis gilt:

$$m = F/FR = (\varphi - \sin\varphi)/2\pi \,. \tag{2}$$

Um die Segmenthöhe $\bar{a}$ zu berechnen, wird benötigt:

$$\bar{a}/D = \left(1 - \cos\left(\bar{\varphi}/2\right)\right)/2 \,. \tag{3}$$

Mit diesen Beziehungen läßt sich bei gegebenem m der Winkel φ aus Gl. (2) berechnen, und mit dem Winkel $\bar{\varphi}$ folgt die Höhe $\bar{a}$ der Segmentblende aus Gl. (3) und der Beziehung $a = D - \bar{a}$. Die Berechnung wird mit dem Verfahren von *Newton* iterativ vorgenommen. Vorher muß Gl. (2) auf eine transzendente Funktion zurückgeführt werden:

$$g(\varphi, m) = 2\pi m - \varphi + \sin\varphi \,. \tag{4}$$

Die Beziehung von *Newton* lautet entsprechend (5):

$$\varphi_1 = \varphi - g(\varphi, m)/g'(\varphi, m) \,. \tag{5}$$

Durch Einsetzen von Gl. (4) in Gl. (5) ergibt sich die endgültige Beziehung:

$$\varphi_1 = \varphi + (\varphi - \sin\varphi - 2m\pi)/(1 - \cos\varphi) \,. \tag{6}$$

1.2. Strömungstechnische Beziehungen

In [5] ist ausgeführt, wie aus der Bernoullischen Beziehung die Gln. (7) bzw. (8) folgen. Allerdings sind in den Beziehungen, die sonst analog zu denen für Normblenden lauten, für die Durchflußzahl α andere Werte zu verwenden und auf Gl. (2) für m zurückzugreifen:

$$G = m\alpha\varepsilon \cdot 0{,}01252 \cdot D^2 \cdot \sqrt{\varrho(P1 - P2)} \,, \tag{7}$$

$$m\alpha\varepsilon = G/\left(0{,}01252 \cdot D^2 \cdot \sqrt{\varrho(P1 - P2)}\right) \,. \tag{8}$$

Die rechte Seite wird analog zu den Normblenden behandelt. Allerdings sind die Durchflußzahl α, die Berichtigungsfaktoren für die Rohrrauhigkeit r und für die Kantenunschärfe e sowie die Expansionszahl ε zu formulieren. Das soll im folgenden geschehen.

1.2.1. Durchflußzahl $\alpha(m^2)$ bzw. $\alpha(\alpha m)$

Beide Abhängigkeiten werden benötigt:

$$\alpha = a0 + y\big(a1 + y\big(a2 + y(a3 + ya4)\big)\big); \qquad y = m^2 \tag{9}$$

$$a0 = 0{,}60908433; \qquad a1 = 0{,}18007121;$$

$$a2 = 0{,}48648316; \qquad a3 = -0{,}86555757;$$

$$a4 = 0{,}70952538;$$

$$\alpha = b0 + y\big(b1 + y\big(b2 + y(b3 + yb4)\big)\big); \qquad y = \alpha m \tag{10}$$

$$b0 = 0{,}61624962; \qquad b1 = -0{,}1520122;$$

$$b2 = 1{,}4099295; \qquad b3 = -1{,}5663454;$$

$$b4 = 0{,}74840667 \,.$$

Gleichung (9) liefert bei gegebener Segmentblende den Durchfluß. Für die Berechnung einer Segmentblende bei gegebenem Durchfluß muß die Abhängigkeit (10) angewendet werden.

Die Koeffizienten wurden aus den Werten in [1] nach der Methode der kleinsten Quadrate errechnet. Wenn man beachtet, daß die Meßwerte in [1] von verschiedenen Autoren beträchtlich voneinander abweichen, kann die erreichte Genauigkeit der Approximation von weniger 1% als gut bezeichnet werden.

1.2.2. Korrekturfaktor für Rohrgenauigkeit

$$r = r(Re, m, ks/D)$$

Die Korrektur kann entsprechend [1] durch die Normblendenwerte dargestellt werden, die in [2] schon analytisch formuliert wurden.

[1]) Mitteilung aus dem VEB Braunkohlenwerk Borna.

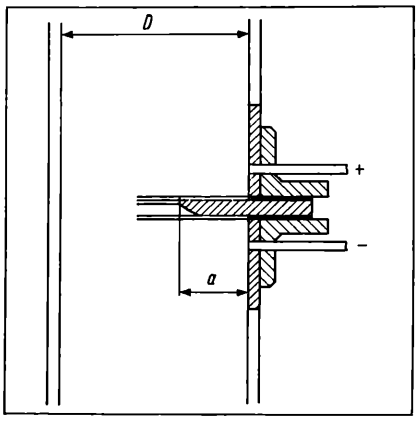


Bild 1. Prinzipskizze einer Meßanordnung für eine Segmentblende

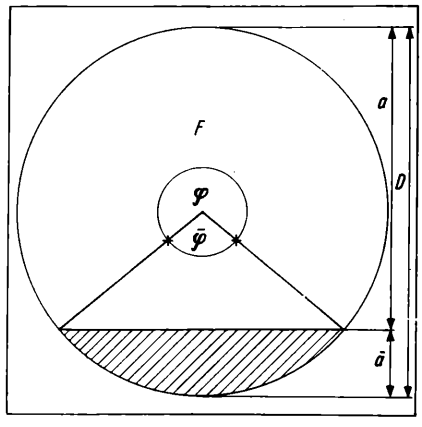


Bild 2. Prinzipskizze einer Segmentblende zur Erklärung der Bezeichnungen

φ Öffnungswinkel im Bogenmaß; $\bar{a}$ Höhe der Segmentblende (in mm); F freie Fläche (in mm²); D Durchmesser des Rohres (in mm)

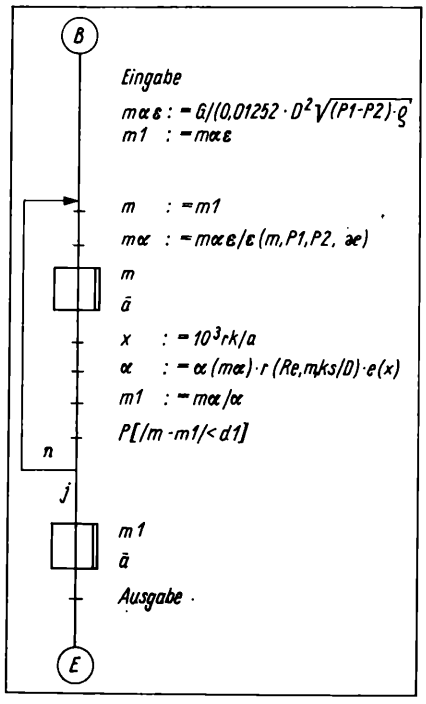


Bild 3. Ablaufschema für die Berechnung einer Segmentblende

G Durchfluß (in kg/h); m Öffnungsverhältnis; α Durchflußzahl; ε Expansionszahl; ϱ Wichte des Mediums (in kg/m³); $P1$ Druck vor der Blende (in mm WS); $P2$ Druck nach der Blende (in mm WS); $\varkappa$ Kompressibilität; r Berichtigungszahl für Rohrrauhigkeit; ks Rohrrauhigkeit (in mm); Re Reynoldszahl; e Berichtigungszahl für Kantenunschärfe; rk Kantenradius (in mm);

Sie lauten entsprechend Gl. (11), wobei die Reynoldzahl und ein Rauhigkeitsbeiwert ks hinzutreten:

$$r(Re, m, ks/D) = a \cdot (\lg Re/6)^2 + 1\,, \tag{11}$$

$$a = -1{,}5 \cdot 10^{-3} + F(m) \cdot \lg\left(ks/(2{,}9 \cdot 10^{-4} D)\right),$$

$$F(m) = 0{,}03 + 0{,}0547m^2\,, \qquad m^2 \leqq 0{,}36\,,$$

$$+ 0{,}0389\,(m^4 - 0{,}1296)\,, \qquad m^2 > 0{,}36\,.$$

Das zweite Glied tritt bei $m^2 > 0{,}36$ in $F(m)$ hinzu.

1.2.3. Korrekturfaktor für Kantenunschärfe $e(x)$

Für die Gewinnung von Gl. (12) wird die tabellarische und grafische Darstellung für den Korrekturfaktor in [3] verarbeitet und ein analytischer Ausdruck abgeleitet, der einen maximalen Fehler von $1{}^0/_{00}$ gegenüber der dortigen Darstellung hat.

$$e(x) = 1 + 0{,}087 \ln\left(1 + x\left(0{,}0216 + x0{,}0685/(x + 6{,}86)\right)\right)$$

$$x = 2 \cdot 10^3 rk/\left(D \cdot (1 - \cos(\varphi/2))\right)\,. \tag{12}$$

1.2.4. Expansionszahl $\varepsilon(m, P1, P2, \varkappa)$

Die Expansionszahl ε wird aus [4] übernommen und lautet bei Hinzukommen der Drücke vor bzw. nach der Segmentblende sowie der Kompressibilität:

$$\varepsilon(m, P1, P2, \varkappa) = 1 - (0{,}3707 + 0{,}3184m^2) \times$$

$$\times \left(1 - (P2/P1)^{1/\varkappa}\right)^{0{,}935}\,. \tag{13}$$

2. Vollständiger Algorithmus

Im Bild 3 ist der Algorithmus für den Fall dargestellt, daß eine Segmentblende bei gegebenem Durchfluß errechnet werden soll, im Bild 5 der umgekehrte Fall, daß bei gegebener Segmentblende der Durchfluß errechnet werden soll.

In beiden Fällen erfolgt eine Eingabe und eine Ausgabe sowie eine eventuelle Berechnung von Materialwerten aus physikalischen Parametern, was im einzelnen hier nicht ausgeführt werden soll. Danach wird das Öffnungsverhältnis m iterativ berechnet. Mit Hilfe von $\bar{\varphi}$ wird $\bar{a}$ aus der Beziehung (3) gewonnen. Im anderen Fall wird Gl. (3) nach $\bar{\varphi}$ umgestellt, und aus $\bar{a}$ wird $\bar{\varphi}$ errechnet (s. Bild 4)

$$\bar{\varphi} = 2 \arccos(1 - 2\bar{a}/D)\,. \tag{14}$$

Nach einer Korrektur wird schließlich mit Gl. (7) der Durchfluß als Resultat erhalten.

3. Testbeispiel

Zur Illustration wird eine Rückrechnung in einem besonders einfachen Fall gewählt.

Medium: Wasser

$D = 302$ mm

$a = 132{,}86$ mm

$h = 2500$ mm Ws

$t = 10{,}00$ °C

$p = 1{,}3$ ata

$\varrho = 999{,}8$ kg/m³

Errechnet werden m, α und G.

Für Wasser ist $\varepsilon = 1$ und e sowie r sind etwa 1.

$\bar{a} = D - a = 169{,}14$. Es ergibt sich mit Gl. (14):

$\bar{\varphi} = 2 \arccos(1 - 2\bar{a}/D) = 193{,}7992°$,

$\varphi = 2\pi - \bar{\varphi} = 2{,}9007512$ rad.

Nach Gl. (2) folgt:

$m = (\varphi - \sin\varphi)/(2\pi) = 0{,}42370$.

Aus Gl. (9) gewinnt man $\alpha = 0{,}6537$.

Schließlich ergibt sich nach Gl. (7):

$G = m\alpha \cdot 0{,}01252 \cdot D^2\sqrt{\varrho h}$,

$G = 500000$.

Zusammenfassung

Mit Meßwerten aus der Literatur wurden analytische Beziehungen für die Durchflußzahl sowie die Kantenunschärfe abgeleitet und angegeben. Andere Beziehungen, soweit in der Literatur vorhanden, wurden übernommen und ein Algorithmus aufgestellt, der analytisch vollständig ist, also ohne Tabellen und grafische Abbildungen auskommt und die Berechnung von Segmentblenden erlaubt. Beide Richtungen der Berechnung, nämlich Segmentblenden aus dem Durchfluß und umgekehrt, wurden beachtet.

(Fortsetzung auf S. 508 unten)

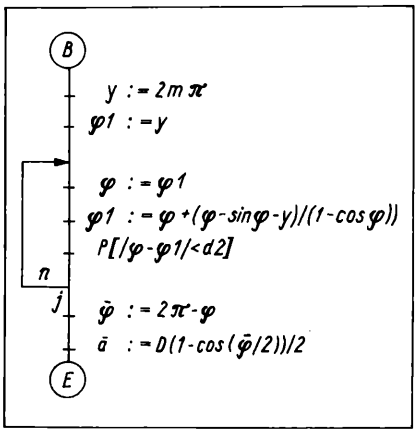
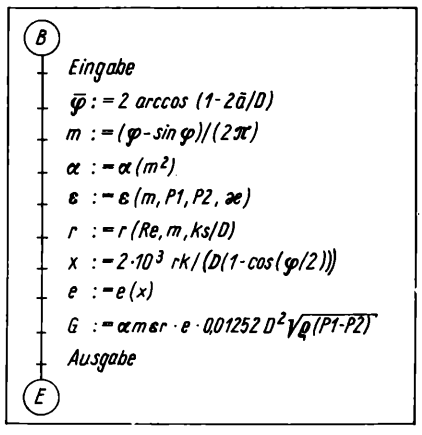


Bild 4. Unterprogramm zur Berechnung der Segmentblendenhöhe aus m

◀

Bild 5. Ablaufschema für die Berechnung der Durchflußmenge



D r.-Ing. *W. Enkelmann*, Rossendorf[1])

Eine Softwarelösung zur Kopplung der ursadat 5000 mit einem Rechner K 1620/K 1630 im Prozeßrechnersystem A 6491/A 6492

IA 4.0.5.

0. Einleitung

Die vorgestellte Lösung ist für solche Prozeßrechnersysteme konzipiert, bei denen die ursadat 5000 vorrangig zur Prozeßkommunikation und zur Primärdatenverarbeitung und der K1600 zur Lösung von Regieaufgaben und zur Bedienerkommunikation dienen.

Gerätetechnische Grundlage für die Kopplung beider Rechnerebenen ist das Linieninterface für serielle Datenübertragung IFLS „ASU-TP" [1]. Im Rechner K1600 wird das Betriebssystem MOOS 1600 [2] und in der ursadat 5000 das Steuerprogrammsystem EIEX 1521 [3] verwendet. Die Anwenderanforderungen an die Kopplungs-Software werden teilweise aus einem Einsatzfall abgeleitet, der gegenwärtig im ZfK Rossendorf vorbereitet wird [4]. Dieser Einzelfall ist repräsentativ für Automatisierungssysteme in Fließprozessen (z. B. Kraftwerke, verfahrenstechnische Anlagen) und weist darüber hinaus auch Merkmale von Systemen der Laborautomatisierung auf. Für die Entwicklung der Kopplungs-Software waren vor allem folgende Forderungen maßgebend:

- Erzielung eines guten Echtzeitverhaltens
- einfache Handhabung durch den Anwender
- Verfügbarkeit für den Anwender bei Auslieferung der ersten Anlagen.

1. Serielles Interface IFLS

1.1. Allgemeine technische Bedingungen

Die allgemeinen technischen Bedingungen sowie die logischen und elektrischen Bedingungen des IFLS wurden in einem Entwurf des Instituts für Reglungstechnik, Berlin, für einen RGW-Standard dargelegt [5]. An dieser Stelle werden die allgemeinen Bedingungen nur soweit erläutert, wie es für das Verständnis der behandelten Kopplung zwischen K1600 und ursadat 5000 im Prozeßrechnersystem (PRS-Kopplung) notwendig ist. Die Verbindung zwischen den Stationen und dem Bus wird durch Anschlußsteuerungen hergestellt, die einen direkten Speicherzugriff haben (Bild 1). Die übertragbare Bruttodatenrate beträgt 500 Kbit/s, und die maximal zulässige Entfernung zwischen den Stationen ist auf 3 km begrenzt.

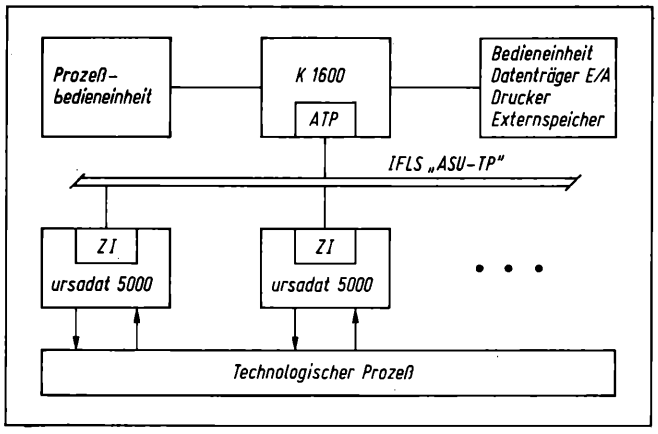


Bild 1. Grundstruktur des Prozeßrechnersystems A 6491/A 6492
ATP, ZI Anschlußsteuerungen

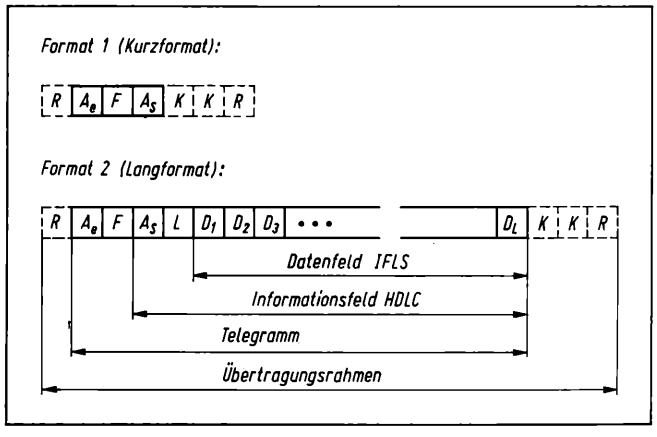


Bild 2. Übertragungsformat des IFLS
A_e Adresse der empfangenden Station
F Funktionsbyte
A_s Adresse der sendenden Station
L Anzahl der Datenbytes im Datenfeld IFLS (1 ... 250)
D_n Datenbyte

Die Daten werden in Form von sogenannten Übertragungsrahmen mit begrenzter Länge über den Bus gesendet. Ein Übertragungsrahmen enthält außer den zu übertragenden Daten verschiedene Steuer- und Prüfinformationen und wird durch Bitfolgen zur Rahmenbegrenzung und Synchronisation eingefaßt (Bild 2).

Je nach den Funktionen, die eine Station ausüben soll, werden drei verschiedene Stationstypen definiert:

- Zentrale
- Steuerstation
- gesteuerte Station.

Die Zentrale ist im Übertragungsnetz nur einmal vorhanden. Sie kann im allgemeinen Fall die Steuerfunktion an eine Steuerstation übertragen, so daß diese dann selbständig den Datenaustausch mit einer gesteuerten Station aufnimmt. Bei der PRS-Kopplung existieren nur zwei verschiedene Stationstypen:

- Der K1600 ist Zentrale und hat ständig die Steuerfunktion (Master).

[1]) Mitteilung aus dem ZfK Rossendorf, Bereich Reaktorphysik.

(Fortsetzung von S. 507)

Literatur

[1] *Hernig, F.; Wolowski, E.:* Die Segmentblende, Ergebnisse der bekanntgewordenen Versuche. BKW **15** (1963) H. 5, S. 267–269.
[2] *Thibessard, G.:* Einfluß der Rohrrauhigkeit auf die Durchflußzahl von Normblenden. BKW **17** (1965) H. 1, S. 26–29.
[3] *Hernig, F.; Wolowski, E.:* Die Kantenschärfe von Normblenden und Segmentblenden und das Ähnlichkeitsgesetz. BKW **15** (1963) H. 1, S. 26–30.
[4] *Thibessard, G.:* Über die Expansionszahl bei der Durchflußmessung mit Normblenden. BKW **12** (1960) H. 12, S. 97–101.
[5] TGL 0-1952: Durchflußmeßregeln.

msr 7596

— Die Einheiten der ursadat 5000 sind ständig gesteuerte Stationen (Slave).

Ein Datenaustausch zwischen Master und Slave umfaßt in der Regel zwei Übertragungsvorgänge. Der Master leitet den Datenverkehr ein, indem er ein Telegramm an eine Slave-Station sendet. Diese empfängt das Telegramm, wertet die Steuerinformation aus und sendet ein Antworttelegramm zurück. Nur im Ausnahmefall einer globalen Adressierung an alle Stationen wird keine Antwort gesendet.

1.2. Logische Bedingungen

Das Format des Übertragungsrahmens ist byte-orientiert und basiert auf dem standardisierten Grundaufbau der „High Level Data Link Control Procedure — HDLC" der ISO [6]. Bild 2 zeigt die im IFLS zugelassenen Formate 1 und 2. Innerhalb eines Übertragungsrahmens werden nur die dick umrandeten Teile programmtechnisch als Telegramme behandelt. Die R-Bytes dienen der Rahmenbegrenzung, und die K-Bytes enthalten ein Prüfpolynom. Diese Teile werden vom Sendegerät erzeugt und vom Empfangsgerät ausgewertet.
Gegenüber HDLC werden im IFLS ein bzw. zwei weitere Bytes mit Steuerinformationen belegt.
Im F-Byte sind die wesentlichsten Steuerinformationen für die Abwicklung der Prozeduren enthalten. IFLS hat eigene Funktionskodes, die besser den Echtzeitanforderungen der Prozeßdatenverarbeitung Rechnung tragen als die für die Datenfernverarbeitung konzipierten HDLC- und SDLC-Prozeduren.
Die Tafel, zu Bild 3 gehörend, zeigt die Kodierung der Funktionen des IFLS, die für die PRS-Kopplung benutzt werden. Die mit einem Stern gekennzeichneten Festlegungen gelten nur für die PRS-Kopplung. Weitere Steuerinformationen im Datenfeld werden im Abschnitt 4.4. erläutert.

2. Anwenderanforderungen an die Koppelsoftware

Aus der Analyse der Anwenderaufgaben, die mit einem Prozeßrechnersystem der im Bild 1 gezeigten Struktur zu lösen sind, resultieren die folgenden Standardaufgaben für die Koppelsoftware:

a) Einschreiben bzw. Lesen von Daten durch eine beliebige Task des K1600 in den bzw. aus dem Speicher der ursadat 5000

Tafel. Funktionen für die PRS-Kopplung

Aufruf	Bitmuster	Funktion
(*) F01	0 0 0 0	Anfangszustand in Slave-Station setzen (nur in Verbindung mit Sicherung)
F02	0 0 0 1	Schreiben
F03	0 0 1 0	Lesen
F04	0 0 1 1	Schreiben/Lesen
F05	0 1 0 0	Stationsabfrage
⋮		reserviert
F16	1 1 1 1	
	Antwort	
(*) F17	0 0 0 0	Antwort auf F01, wenn Anforderungspuffer leer ist
F18	0 0 0 1	Schreiben (Empfangsbestätigung)
F19	0 0 1 0	Lesen (gelesene Daten)
F20	0 0 1 1	Schreiben/Lesen
F21	0 1 0 0	Stationsantwort auf F05
⋮		reserviert
(*) F25	1 0 0 0	Antwort auf F01, wenn Anforderungspuffer gefüllt ist
⋮		reserviert
(*) F32	1 1 1 1	CRC — Fehler im Aufruftelegramm

*) Abweichung vom Vorschlag des IfR

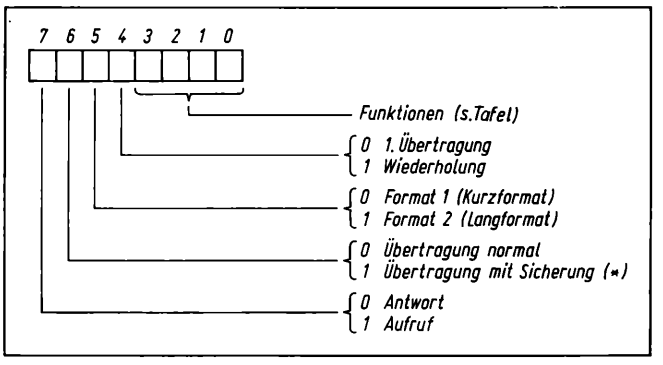


Bild 3. Belegung des Funktionsbytes für PRS-Kopplung

Beispiele: . Laden von Programmen und Datenfeldern beim Systemstart
. Änderung von Konstanten für die Meßwertverarbeitung
. Übernahme von Meßdaten aus der ursadat 5000

b) Auslösen bestimmter Reaktionen in der ursadat 5000 durch eine beliebige Task des K1600

Beispiele: . Starten der Meßwerterfassung
. Starten oder Fortsetzen von Programmen zur Steuerwertausgabe

c) Auslösen bestimmter Reaktionen im K1600 durch eine beliebige Task in der ursadat 5000

Beispiele: . Übergabe von Alarmen aus der Primärdatenverarbeitung der ursadat 5000
. Fertigmeldung nach Abarbeitung eines Steuerschrittes in der ursadat 5000.

Jede anfallende Übertragungsaufgabe soll möglichst durch einen einzelnen Datenverkehr erfüllt werden, damit ein gutes Echtzeitverhalten erzielt wird und der Organisationsaufwand gering bleibt. Beim Auftreten von Übertragungsfehlern dürfen jedoch keine Daten unbemerkt verlorengehen. Die meisten Übertragungswünsche entstehen im K1600, weil dort die Regieprogramme ablaufen und die Bedienerkommunikation durchgeführt wird. Aus diesem Grund ist die feste Zuordnung der Masterfunktion zum Rechner K1600 vorteilhaft.

3. Bemerkungen zum Eingabe/Ausgabekonzept des MOOS 1600

Unter Steuerung der Exekutive MOEX 1600 kann eine E/A-Anforderung an ein peripheres Gerät auf verschiedenen programmtechnischen Ebenen ausgesendet werden. Am besten werden die unter Abschnitt 2. genannten Forderungen durch die Exekutive-Anweisung QIO$ erfüllt. Sie stellt für den Anwender die unterste Ebene der E/A-Organisation dar. Da die QIO$-Anweisung universell ist für alle Geräte, bietet sie auch alle Vorteile des Systems, z. B. Warteschlangenorganisation, parallele Bedienung gleicher Geräte, Zeitüberwachung, Parameterkontrolle u. a. Der Parametersatz der Anweisung enthält sowohl Standardparameter als auch gerätespezifische Parameter.
Zu den im Betriebssystem bereits vorhandenen Gerätebedienprogrammen (Driver) lassen sich weitere hinzufügen. Ein Driver besteht aus einem Programmteil und aus der Datenbasis.
Der Programmteil wird über die Eintrittspunkte

— E/A-Initialisierung
— Geräteinterruptbehandlung
— E/A-Abbruch
— Gerätefehlerabbruch
— Netzausfallbehandlung

durch die Exekutive bzw. direkt über Interruptvektoren angesprungen. Die Datenbasis wird von verschiedenen Datenblöcken gebildet, die der Kommunikation zwischen Driver und Anwendertask einerseits und zwischen Driver und Exekutive andererseits dienen. Ein Driver kann sowohl als fester Bestandteil der Exekutive generiert als auch durch Kommando zum zeitweiligen Gebrauch in den Hauptspeicher geladen werden.
Während der Abarbeitung eines Drivers sind drei verschiedene Prioritätsstufen einstellbar. Damit ist gesichert, daß einerseits alle Geräteinterrupts zügig verarbeitet und andererseits die Geräte nach der vorbestimmten Priorität behandelt werden.

4. Konzept für die PRS-Kopplung

4.1. Vorbemerkung

Die im IFLS verwirklichte Master-Slave-Beziehung bedingt, daß nur der Master spontan einen Datenverkehr starten kann, während der Slave mit der Erfüllung seines Übertragungswunsches auf die Abfrage durch den Master warten muß. Unter der im Abschnitt 2. begründeten Maßgabe, daß der K1600 ständig die Master- und die Grundeinheiten der ursadat 5000 ständig die Slave-Funktion besitzen, sind nachfolgend zwei grundsätzliche Behandlungen zu unterscheiden:

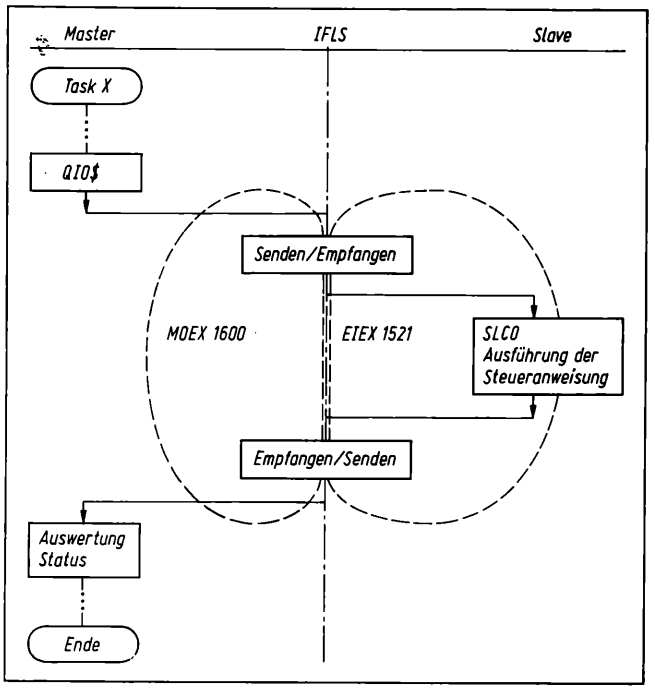
1. Der Übertragungswunsch geht vom Master aus (Anwenderanforderungen a) und b) gemäß Abschnitt 2.)
2. Der Übertragungswunsch geht vom Slave aus (Anwenderanforderung c) gemäß Abschnitt 2.).

Zur Erläuterung des logischen Ablaufes sind die Bilder 4 und 5 vorgesehen. Dort werden von oben nach unten die Aktionen in ihrer zeitlichen Reihenfolge angezeigt. Die eingezeichnete Mittellinie trennt beide Stationstypen. Nahe der Mittellinie sind die gerätespezifischen Teile der Systemprogramme angelagert, während die anwenderspezifischen Behandlungen weiter von der Mittellinie abgerückt sind.

4.2. Behandlung von Übertragungswünschen der Master-Station

Der Übertragungswunsch geht von einer beliebigen Task *X* in der Master-station aus (Bild 4). Diese Task stellt ein Telegramm mit der Stationsadresse des Empfängers, den Steuerinformationen und dem benötigten Datenteil bereit und sendet es mit Hilfe der QIO$-Anweisung an die Slave-Station. Nach Empfang des Telegramms wird in der Slave-Station die Systemroutine SLCO (slave control) durchlaufen. Sie führt die durch Steuerinformationen angezeigten Aktionen aus und bildet das Antworttelegramm, das an die Master-Station zurückgesendet wird. Mit dem Eintreffen der Antwort im Empfangspuffer der Nutzertask *X* ist die QIO$-Anweisung abgeschlossen. Wenn die Statusinformation der QIO$-Anweisung einen erfolgreichen Ablauf des Datenverkehrs anzeigt, kann nun das Antworttelegramm verarbeitet werden.

Bild 4. Behandlung von Übertragungsanforderungen der Master-Station



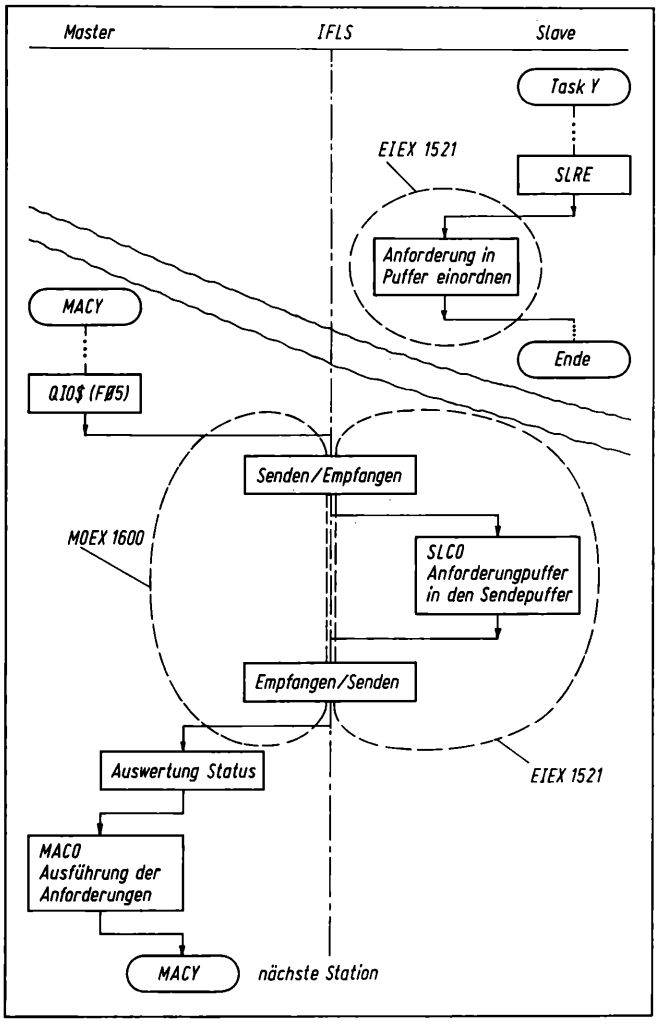


Bild 5. Behandlung von Übertragungsanforderungen der Slave-Station

4.3. Behandlung von Übertragungswünschen einer Slave-Station

Der Übertragungswunsch geht in diesem Fall von einer beliebigen Task *Y* in einer Slave-Station aus (Bild 5). Anlaß kann z. B. ein spontanes Ereignis aus dem Prozeß sein. Im Gegensatz zu dem im Abschnitt 4.2. behandelten Fall ist die Task nicht in der Lage, unmittelbar einen Datenverkehr einzuleiten. Sie ist darauf angewiesen, daß der gewünschte Datenverkehr durch eine sogenannte Stationsabfrage des Masters angestoßen wird. Da zwischen zwei Stationsabfragen mehrere Anforderungen aus Nutzertasks auftreten können, ist es notwendig, diese Anforderungen in einem Puffer zu sammeln. Hierzu dient der Steuerprogrammruf SLRE (slave request) des EIEX 1521. Die zeitzyklische Abfrage der Slave-Stationen wird mit Hilfe des Programms MACY (master cycle) durchgeführt. Das ausgesandte Telegramm mit der Funktion FØ5 (siehe Tafel) führt dazu, daß

das Programm SLCO die gesammelten Anforderungen als Antwort auf die Stationsabfrage an den Master sendet. Dieser verarbeitet in einem anwenderspezifischen Unterprogramm MACO (master control) die Anforderungen. Auf diese Weise können z. B. Alarmmeldungen aus dem Prozeß zu Protokoll gebracht werden.

4.4. Übertragungsarten und ihre Kodierung

4.4.1. Allgemeines

Im Abschnitt 2. wurden drei Übertragungsarten charakterisiert, die als Standardaufgaben zu behandeln sind. Darüber hinaus ist es möglich, weitere anwenderspezifische Behandlungen vorzusehen. Zur Verarbeitung des Telegramminhaltes durch den Empfänger sind, abgesehen von der Stationsabfrage (Abschnitt 4.4.4.), in Ergänzung zum Funktionsbyte weitere Steuerinformationen in die ersten Datenbytes aufzunehmen.

4.4.2. Blockorientierter Datenzugriff (BLK)

Diese Übertragungsart erfüllt die Anforderung a) gemäß Abschnitt 2. Das Steuerprogramm SLCO unterteilt Speicherbereiche der ursadat 5000 in Blöcke der Länge 1 ... 247 Byte und organisiert den Zugriff (Lesen oder Schreiben) zu diesen Blökken.
Datenfeld im Sendetelegramm:

D_1:	Ø | Ø ... 127	Kennzeichen für Übertragungsart und Block-Nummer
D_2:	Ø ... 246	Nummer des ersten Bytes im Block
D_3:	$N = 1 ... 247$	Anzahl der zu übertragenden Datenbytes
$D_4 ... D_L$:		N Datenbytes (beim Schreiben gilt $N = L - 3$)

Datenfeld im Empfangstelegramm:

— Schreiben:

Antworttelegramm im Format 1

— Lesen:

$D_1 = Ø$: Kennzeichen für fehlerfreie Datenbereitstellung
$D_2 ... D_L$: gelesene Daten

4.4.3. Übertragung eines Aktionsblockes (ACT)

Diese Übertragungsart erfüllt die Anforderung b) gemäß Abschnitt 2. Sie erlaubt die Ausführung beliebiger vorprogrammierter Aktionen in der Slave-Station. Dabei kann die Funktion Schreiben, Lesen und Schreiben/Lesen ausgeführt werden. Datenfeld im Sendetelegramm:

D_1:	1 | Ø ... 127	Kennzeichen für Übertragungsart, Nummer der Aktion in der Slave-Station
$D_2 ... D_L$:		Daten

Datenfeld im Empfangstelegramm:

— Schreiben:

Antworttelegramm im Format 1

— Lesen und Schreiben/Lesen:

$D_1 = Ø$ Kennzeichen für fehlerfreie Behandlung in der Slave-Station
$D_2 ... D_L$: Daten

4.4.4. Abfrage von Anforderungsblöcken (REQ)

Diese Übertragungsart erfüllt die Anforderung c) gemäß Abschnitt 2. Sie ermöglicht die Ausführung beliebiger vorprogrammierter Aktionen im K1600. Im Gegensatz zur Übertragungsart ACT werden mehrere Anforderungen in einem Puffer der Slave-Station gesammelt.
Jeder einzelne Anforderungsblock hat folgenden Aufbau:

1. Byte: Länge des Blockes (N)
2. Byte: Nummer der Reaktion in der Master-Station
ab 3. Byte: $N - 2$ Datenbytes

Format des Sendetelegrammes: Kurzformat, Stationsabfrage

Format des Antworttelegrammes:

— Kurzformat, falls keine Anforderungen vorhanden sind
— Langformat mit folgendem Datenfeld-Aufbau:

D_1: Statusinformation
$D_2 ... D_L$: Anforderungsblöcke ($L \leqq 250$)

4.5. Struktur der Telegrammverarbeitung in der Slave-Station

Das Programm SLCO (slave control) entschlüsselt das Sendetelegramm, führt die gewünschte Handlung aus und bildet das Antworttelegramm. Die Steuerinformationen des Telegramms führen über eine Entschlüsselung in den jeweiligen Behandlungszweig (Bild 6). Ist der angezeigte Behandlungszweig nicht zu finden, so wird im Fehlerzweig (ERR) ein Antworttelegramm im Langformat mit folgender Fehlerantwort gebildet:

D_1: Fehlerkennzeichen (alle Bits gesetzt)
D_2: Nummer des Fehlers

Die innerhalb der Zweige REQ, BLK und ACT erkannten Fehler führen ebenfalls zu einer Antwort mit diesem Format. Das Programm SLCO ist generierbar. Je nach Bedarf können einzelne Zweige weggelassen werden. Der anwenderspezifische Teil wird im Zweig ACT aufgerufen.

4.6. Übertragungssicherung

Verfälschungen des Telegramms während der Übertragung werden durch Bildung und Vergleich des CRC-Polynoms in den Anschlußsteuerungen erkannt. Treten solche Fehler auf, so wiederholt der Driver in der Master-Station den Übertragungsvorgang. Um zu sichern, daß dabei das Programm SLCO nicht mehrmals durchlaufen wird (das könnte z. B. den Verlust von Anforderungsblöcken der Slave-Station zur Folge haben), muß vor der eigentlichen Nutzübertragung eine Vorübertragung durchgeführt werden. Sie bewirkt nur das Rücksetzen eines Schalters in der Slave-Station. Beim Durchlauf von SLCO während des Nutz-Übertragungsvorganges wird dieser Schalter gesetzt. Dieser Mechanismus sichert, daß bei beliebiger Kombination von Übertragungsfehlern im Aufruf- und Antworttelegramm kein Informationsverlust auftritt. Die Übertragungssicherung wird vom Anwendertask durch ein Bit im Funktionsbyte eingestellt (siehe Tafel).
Bei Übertragungsaufgaben, die eine Wiederholung zulassen (z. B. Lesen stationärer Daten), kann auf die Übertragungssicherung verzichtet werden.

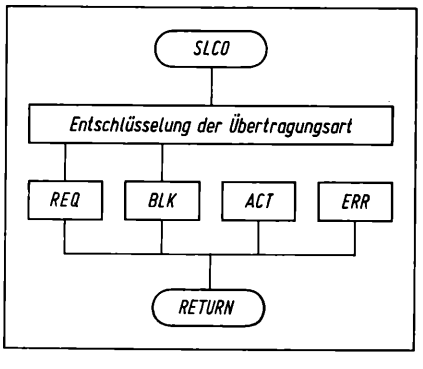


Bild 6. Telegrammverarbeitung in der Slave-Station

5. Empfehlungen für den Aufbau eines Echtzeitoperationssystems

Die Verteilung eines Echtzeitoperationssystems auf mehrere Rechnerebenen bringt gegenüber einer Einzelrechnerversion eine ganze Reihe neuer Probleme mit sich. Aus der Sicht der hier vorgestellten programmtechnischen Behandlung der Koppelverbindung zweier Rechnerebenen werden nachfolgend einige Empfehlungen gegeben:

- Die Aufgabenteilung zwischen beiden Ebenen ist so vorzunehmen, daß möglichst keine schnellen Reaktionen des Masters auf Anforderungen eines Slaves erfolgen müssen.
- Zu beachten ist, daß jeder Informationsaustausch zwischen den Ebenen mit zusätzlichen Maßnahmen zur Fehlerkontrolle belastet wird. Daher sollte der Umfang an Informationsübertragungen über die Schnittstelle nicht bedenkenlos ausgeweitet werden.
- Wichtig ist eine klare Festlegung der Anschlußbedingungen zwischen beiden Ebenen, da in der Regel ein und derselbe Programmierer nicht die unterschiedlichen Programmtechniken beider Ebenen beherrscht.
- Die Primärverarbeitung der Prozeßsignale sollte in der prozeßnahen Ebene durchgeführt werden.
- Ein rationeller Zugriff zu Prozeßinformationen durch die Master-Station wird erreicht, wenn man bei der Abspeicherung der Daten in der Slave-Station dem blockorientierten Zugriff Rechnung trägt.
- Die problemorientierte Organisation der Prozeßdaten-Behandlung ist auf die obere Ebene zu beschränken, um die Schnittstelle zwischen beiden Ebenen nicht unnötig zu belasten.
- Bei der Aufteilung der Prozeß-Ein/Ausgänge auf mehrere Grundeinheiten der ursadat 5000 ist zu beachten, daß programmtechnische Querverbindungen zwischen den Grundeinheiten über die Master-Station führen und daher erheblichen organisatorischen Aufwand kosten.

Literatur

[1] *Töpfer, H.; Fuchs, H.; Willem, H.:* Moderne gerätetechnische Mittel und ihre Konsequenzen für neue Automatisierungskonzepte. msr 23 (1980) H. 1, S. 2–10.

[2] *Amborn, W.; Müller, D.:* Systemunterlagen für das Mikrorechnersystem robotron K 1600. NTB 24 (1980) H. 2, S. 46–48.

[3] *Keller, D.; Tomandel, E.-P.:* Besonderheiten der Kooperation zwischen Herstellern und Anwendern von Mikrorechnern am Beispiel des Mikrorechnersystems robotron K 1520. msr 23 (1980) H. 5, S. 246–250.

[4] *Baldeweg, F.; Klebau, J.; Enkelmann, W.:* Konzeption für den Einsatz eines hierarchischen informationellen Systems (HIS) am Rossendorfer Forschungsreaktor. Arbeitsbericht RPR-5/79, ZfK Rossendorf, November 1979.

[5] Entwurf Normativmaterial der MRK für RT, IFLS. IfR Berlin, Februar 1980.

[6] HDLS-Prozedur. ISO-3309 HDLC-Procedures.

msr 7602

Ing. Ing. *H. Kloust*, Berlin[1])

Informationen zu neuen internationalen Vorschriften der Elektro- und Automatisierungstechnik

IA 6.4.

In Fortsetzung der Auswertung [1] und [2] wichtiger Vorschriften des IEC und anderer Länder für Weltstandsvergleiche zur schnelleren Entwicklung unserer Erzeugnisse sollten nachfolgende uns zugängliche Publikationen des Jahres 1981 Beachtung finden:

IEC (DIN) 550 (Entwurf 12.81)

Schnittstelle zwischen numerischen Steuerungen und Industriemaschinen

Der Geltungsbereich dieser Norm erstreckt sich auf die Schnittstelle zwischen der numerischen Steuerung und den Ausrüstungen von Industriemaschinen, die durch eine numerische Steuerung gesteuert werden. Sie erfaßt die Bereiche:

- Zweckbestimmung mit den Anforderungen für die oben genannte Schnittstelle, mit den Zielen,
  - die Sicherheit für Personen und Einrichtungen zu gewährleisten
  - alle erforderlichen Funktionen in notwendigem Umfang zu standardisieren, um die sichere Anwendung der Ausrüstungen von verschiedenen Herstellern zu gewährleisten
  - bestimmte Signale, die über die Schnittstelle ausgetauscht werden, zu definieren und Empfehlungen ihrer elektrischen Eigenschaften sowie der Art und Installation der Verbindungen zu geben
- Begriffe
- Allgemeine Anforderungen an die Schnittstellenverbindungen, z. B. Führung, Anordnung und Abschirmung der eingesetzten Leitungen
- Empfehlungen und Anforderungen von Betriebsmitteln der Gruppe I (Thyristor-Antriebe, Steuer- und Hauptstromkreise, Hydraulik-Stellventile)
- Empfehlungen für die Gruppe II (Meßkreise)
- Empfehlungen für die Gruppe III (Stromversorgung, Netzanschluß, Schutzmaßnahmen)
- Empfehlungen für die Gruppe IV (Klemmen, Steckverbindungen, Ein- und Ausgänge)
- Hilfs-, Zusatzsignale, allgemeine Signale der Gruppe IV
- Beispiele für die Gruppen I und IV sowie zu den Beziehungen zwischen numerischer Steuerung, Anpaßsteuerung und Maschine.

IEC 74; DIN (CO) 14 A1 (Entwurf 1981) [3]

Sicherheit von Datenverarbeitungseinrichtungen (1. Änderung)

Die Vorschrift enthält Änderungsvorschläge zu:

- Kriech- und Luftstrecken; mechanische Festigkeit
- Dicke der Isolation von Leiterplatten
- abgedichtete Teile von vergossenen Bauteilen
- Zugangsmöglichkeiten zu gefährlichen Teilen
- einzuhaltende Fehlerbedingungen.

IEC 92 (1980) [4]

Elektrotechnische Anlagen auf Schiffen

In dieser Vorschrift wurden die folgenden Bereiche zu elektrischen Betriebsmitteln neu festgelegt:

[1]) Mitteilung aus dem Kombinat Automatisierungsanlagenbau Berlin, Institut für Elektroanlagen.

- Kapitel 302 Schaltgeräte und Steuerungsanlagen
- Kapitel 303 Transformatoren für Kraft- und Beleuchtungsanlagen
- Kapitel 304 Halbleiter und Umrichter
- Kapitel 305 Akkumulatorenbatterien.

IEC 76; DIN (CO) 6 [5]

Strahlungssicherheit von Laser-Einrichtungen; Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen

Diese Norm enthält Festlegungen zum gesamten Bereich der Strahlungssicherheit von Geräten und Anlagen. Sie gibt an:

- zulässige Sicherheitsmaßnahmen, z. B. Schutz durch Gehäuse, Verriegelungen, Warneinrichtungen
- Klassifizierung der Laserklassen und der zugehörigen Warnstufen
- Angaben zur Prüfung und Messung der Laserklassen Beschreibung der Gefahren der Laserstrahlung
- Anhänge mit Rechenbeispielen, Größen und deren Einheiten
- Anhänge über Grenzwerte zulässiger Bestrahlung und zugängiger Strahlung.

IEC (DIN) 348 (Entwurf 3.81)

Sicherheitsbestimmungen für elektronische Meßgeräte

Der Geltungsbereich dieser Vorschrift erstreckt sich auf elektronische Meßgeräte, deren Zubehör, Hilfs- und Stromversorgungseinrichtungen, die in Innenräumen zum Einsatz kommen. Sie gilt nicht für Meßgeräte der Medizintechnik und enthält die Bereiche:

- Begriffe zu Geräten, deren Bestandteilen und Zubehör, zu elektrischen Größen, zur Konstruktion, Prüfung und Sicherheit
- grundsätzliche Anforderungen, Prüfungen und Kennzeichnungen
- Gefahren durch Abstrahlungen
- Erwärmungen, Implosion und Detonation
- Berührungsschutz
- Prüfungen im gestörten Betrieb
- mechanische Festigkeit und Widerstandsfähigkeit bei Erwärmung
- Bauelemente, allgemeine und besondere Anforderungen für Geräte der Schutzklasse II
- Festlegungen zu den Anschlußstellen und den beweglichen Leitungen
- Angaben für die Anwender der Geräte.

IEC (DIN) 65 Teil 101 (Entwurf 3.80)

Sicherheitsbestimmungen für netzbetriebene elektronische Geräte und deren Zubehör für den Heimgebrauch u. ä.

Diese Vorschrift gilt u. a. für spritzwassergeschützte Geräte und deren Sicherungs- und Abschalteinrichtungen und enthält:

- Kennzeichnungsforderungen
- Anforderungen an den Berührungsschutz; Isolierung
- Ergänzungen zu technischen Forderungen der Konstruktion und der Prüfung.

IEC 31 D; DIN (CO) 12

Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche; Teil 2: Elektrische Betriebsmittel in der Zündschutzart p

Diese Norm behandelt die folgenden Bereiche:

a) Allgemeines
- Geltungsbereich zu den Anforderungen und Schutzmaßnahmen, die allgemein für alle Verfahren der Zündschutzart *p* gültig sind.
- Begriffe zu den angewendeten Verfahren und den Bestandteilen der Schutzmaßnahmen
- anzuwendende Schutzmaßnahmen und Baubestimmmungen
- Grenzwerte, Kennzeichnungen, Typprüfungen, Zündschutzgasversorgung

b) Betriebsmittel ohne bzw. mit einer inneren Quelle von brennbarem Gas oder Dampf
- Geltungsbereich zur Anwendung der Überdruckkapselung
- Verfahrensbeschreibung
- einzuhaltende Schutzbedingungen

c) Anlagen
- Anlage A über zulässige Leitungen für die Zündschutzgasversorgung
- Anlage B über allgemeine Anforderungen an Betriebsmittel
- Anlage C mit Richtlinien zur Bestimmung der Art der Freisetzung der Gase im inneren der Gehäuse.

IEC 364-5-56 (Ausgabe 1980) [4]

Elektrische Installation von Gebäuden; Teil: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel; Kapitel: Elektrische Anlagen für Sicherheitszwecke

IEC 603-1 (Ausgabe 1981) [4]

Steckverbinder für gedruckte Schaltungen für Frequenzen unter 3 MHz; Teil 1: Allgemeine Regeln und Anleitung zur Erstellung von Bauartenvorschriften

IEC (DIN) 50 Teil 131 (Entwurf 8.81)

Internationales elektrotechnisches Wörterbuch (IEW); Elektrische Stromkreise und magnetische Kreise

Der Teil 131 des Wörterbuches legt allgemeine wissenschaftliche und technische Begriffe fest und ist in folgende Hauptabschnitte unterteilt:

- Allgemeine Begriffe, z. B. Arten von elektrischen Stromkreisen und Strom-Spannungsquellen, elektrische Größen
- Topologie elektrischer Netze, wie Definitionen zu Netzarten und deren Teilen (Knoten, Schleife, Baum, Zweige, Masche), Eingangs- und Ausgangspole, Tore, Immittanzen, Verstärker, Übertrager
- Verhalten elektrischer Stromkreise, z. B. Gleich-, Wechselspannung und -strom, Schwingungsgehalt, Welligkeit, Leistungsarten, Leistungs- und Verschiebungsfaktoren.

DIN 57413, Teil 7 (Entwurf 10.80)

Messen, Steuern, Regeln; Geräte zum Prüfen der Schutzmaßnahmen in elektrotechnischen Anlagen

Diese Norm gilt für Erdungsmeßgeräte, die mit Netzspannung oder eigener Spannungsquelle nach den I/U-Meßverfahren arbeiten und für Hochfrequenz-Erdungsmeßgeräte.
Sie enthält:

- Begriffe zu Erdern und Kennwerten
- Anforderungen an die Meßgeräte
- Kennzeichnungen und Gebrauchsanleitung
- Prüfungen, Prüfbedingungen, Prüfarten, Beispiele.

VDI/VDE 3519 Blatt 1 (Entwurf 5.81) [4]

Füllstandsmessungen von Flüssigkeiten und Feststoffen

Im Entwurf werden zur Beurteilung möglicher Füllstandsmeßverfahren Erläuterungen und Hinweise für die zweckmäßige Durchführung von Füllstandsmessungen gegeben. Meßanordnungen für Sicht-, Schwimmer-, Verdrängermethoden, hydro-

statische Druck-, Wäge- und Meßmethoden, die die Dämpfung von Schwingungen und das Hemmen von Bewegungen ausnutzen.

DIN 19223

Steuerungstechnik; Speicherprogrammierte Steuerungen; Programmierung

Die Norm gilt innerhalb von speicherprogrammierten Steuerungen und ist unterteilt in:

- Struktur von Steuerungsanweisungen
- Benennungen, Kurzbezeichnungen, grafische Darstellungen für binäre, digitale, organisatorische Operationen, Kennzeichen von Operanden, Bausteinen und Ergänzungen zu Operanden und Bausteinen.

DIN 57800 Teil 11 und 12 (Entwurf 9.81)

Fernmeldetechnik; Allgemeine Grundlagen; Grundsätzliches

Der Teil 11 der Vorschrift gilt für die Sicherheit der Anlagen und Geräte der Fernmeldetechnik in bezug auf die Abwendung von Gefahren für Menschen, Nutztiere und Sachen und enthält:

- Begriffe über Anlagen, Geräte, Personengruppen, Spannungs- und Stromarten, Betriebsmittel, Isolations- und Schutzarten, Betriebsräume
- Grundanforderungen, Prüfungen, Prüfverfahren, -bedingungen
- Anhang A mit Darstellung von Zusammenhängen beim Schutz in bezug auf indirektes Berühren.

Der Teil 12 „Allgemeine Grundlagen; Schutz gegen gefährliche Körperströme" enthält Anforderungen und Prüfungen zum Schutz gegen gefährliche Körperströme. Im einzelnen sind die Bereiche erfaßt:

- obere Grenzwerte der elektrischen Spannungen und Ströme bei Einwirkung auf den menschlichen Körper
- Prüfungen, Prüfverfahren
- Schutz gegen direktes Berühren und dessen Prüfung
- Schutz gegen indirektes Berühren und dessen Prüfung
- Einsatz zuverlässiger Bauelemente; Festlegungen zu Schutz, Belastung und Verläßlichkeit

DIN 57100/VDE 100 (Ausgaben 1980/81) [6]

Errichtung von Starkstromanlagen bis 1000 V

Nach Neugliederung und Überarbeitung einzelner Teile sowie Übernahme wichtiger IEC-Publikationen ergibt sich folgender Stand von Vorschriften:

Teil 100 (Ausgabe 1981) Geltungsbereich, Einführung, Gliederung
Teil 200 (Ausgabe 1981) Begriffserklärungen
Teile 310 ... 350 (Ausgaben 6.80—81) Allgemeine Angaben
Teile 410 ... 480 (Ausgaben 7.80—6.81) Schutzmaßnahmen
Teile 510 ... 560 (Ausgaben 10.80—6.81) Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel
Teil 600 Prüfungen
Teile 701 ... 750 (Ausgaben 1980—81) Bestimmungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art

DIN 57105 Teil 7 (Entwurf 6.81)

Betrieb von Starkstromanlagen; Zusatzfestlegungen für explosivstoffgefährdete Bereiche

Diese Norm gilt für den Betrieb von elektrotechnischen Anlagen in explosivstoffgefährdeten Bereichen nach DIN 57166 und enthält Festlegungen über:

- Begriffe und allgemeine Anforderungen
- Bedienen und Betreiben von Starkstromanlagen im oben genannten Bereich
- Herstellung und Sicherung des spannungsfreien Zustandes
- Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen

DIN 66255 (Ausgabe 5.80) [7]

Aufbau und Inhalt der Programmiersprache PL/I.

DIN 66027 [7]

Programmiersprache FORTRAN

VDI/VDE-Richtlinie 2180 Blatt 3 (Entwurf 5.81) [8]

Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik; Klassifizierung von Sicherungseinrichtungen

Diese Richtlinie soll für Sicherungseinrichtungen der MSR-Technik gelten und gibt Empfehlungen zur Einteilung der MSR-Schutzeinrichtungen nach Schutzzielen für deren Auslegung und den Betrieb in Anlagen. Sie ist unterteilt in

- Blatt 01 „Einleitung und Begriffe" (in Vorbereitung)
- Blatt 02 „Die Auswahl der Struktur von Sicherungssystemen in Abhängigkeit von Zuverlässigkeitskennwerten"
- Blatt 04 „Prüfung und Abnahme von Sicherungseinrichtungen" (in Vorbereitung)
- Blatt 05 „Bauliche und installationstechnische Maßnahmen zur Funktionssicherheit von MSR-Einrichtungen in Ausnahmezuständen".

VDI/VDE-Richtlinie 3558 [9]

Redundanz zur Erhöhung der Verfügbarkeit in Automatisierungsanlagen

Die Richtlinie gliedert sich in folgende Bereiche:

- Zweck und Geltungsbereich
- Aufbau redundanter Systeme
- Betrieb eines Prozeßrechnersystems mit Redundanz
- Berechnung der Verfügbarkeit und der Ausfallraten.

Literatur

[1] *Kloust, H.:* Informationen zu neuen internationalen Vorschriften der Automatisierungstechnik. msr **24** (1981) H. 6, S. 344—346.
[2] *Kloust, H.:* Informationen zu neuen IEC-Vorschriften der Elektrotechnik. ELEKTRIE **35** (1981) H. 7, S. 380 und 381.
[3] etz-Normenanzeiger. etz **102** (1981) H. 23, S. 1246—1249.
[4] etz-Normenanzeiger. etz **102** (1981) H. 19/20, S. 1178—1182.
[5] etz-Normenanzeiger. etz **102** (1981) H. 9, S. 731—734.
[6] etz-Normenanzeiger. etz **102** (1981) H. 12/13, S. 502—503.
[7] Elektronik: Normenanzeiger. Elektronik **29** (1980) H. 24, S. 148.
[8] Mitteilungen aus den Verbänden. Technisches Messen **48** (1981) H. 9, S. 286.
[9] etz-Normenanzeiger. etz **102** (1981) H. 10, S. 562—564.

msr 7639

Noch im Fachbuchhandel erhältlich

Modellierung luft- und kältetechnischer Prozesse

Transportmodelle, mathematische Modelle, rechentechnische Modelle

Von Prof. Dr.-Ing. Günter Heinrich und Dr. sc. techn. Wilfried Krug.

Reihe Luft- und Kältetechnik. 152 Seiten, 68 Bilder, 14 Tafeln, Pappband, 20,— M.
Bestellangaben: 5525919/Heinrich, Luft- und Kälte.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Industrierobotersteuerungen 1

Diese neue msr-Fortsetzungsreihe soll in die aktuelle Problematik der Steuerungstechnik von Industrierobotern einführen. Sie verfolgt das Ziel, Grundprinzipien und Grundstrukturen darzustellen. Demgegenüber soll die Beschreibung technisch ausgeführter Steuerungssysteme, wie sie sich in zahlreichen Fachbeiträgen zu dieser Thematik findet, im Hintergrund bleiben. Die Autoren hoffen, auf diese Weise einen größeren Kreis von Elektronikern und Steuerungstechnikern an die Probleme der Industrieroboter-Steuerungstechnik heranzuführen und auch zur Herausbildung einheitlicher Grundbegriffe und Auffassungen beizutragen.

Die Reihe soll inhaltlich folgende Schwerpunkte behandeln:

- Grundlagen und Grundprinzipien der Steuerung von Industrierobotern
- Verfahren der Bewegungs- und Ablaufsteuerung
- Programmierung und Bedienung von Industrierobotersteuerungen
- Sensorik für Robotersteuerungen
- Gerätetechnik von Robotersteuerungen.

1. Grundlagen der Steuerung von Industrierobotern

1.1. Industrieroboter

Industrieroboter (IR) sind technologische Automatisierungsmittel, die durch folgende Merkmale gekennzeichnet sind:

— Sie stellen automatische Handhabungseinrichtungen dar
— Sie sind in mehreren Freiheitsgraden (Bewegungsachsen) im Raum beweglich
— Bewegungen und technologische Aktionen eines IR sind programmierbar
— IR sind für industriellen Einsatz bestimmt.

Die Industrieroboter müssen von den Manipulatoren unterschieden werden. Manipulatoren sind Handhabungseinrichtungen, die mit Hilfe von Greifern und Greiferführungsgetrieben Hand und Arm des Menschen nachbilden und zum Bewegen von Gegenständen im Raum geeignet sind. Erfolgt die Steuerung unmittelbar per Hand, so spricht man von einem Synchronmanipulator oder Balancer. Programmgesteuerte Manipulatoren gestatten eine Programmierung der Bewegung und stellen einen Grenzfall zu den Industrierobotern dar.

Der Einsatz eines oder mehrerer Industrieroboter ist eine technologische Aufgabe, die sich in die Teilprobleme

— Gestaltung des Roboterarbeitsplatzes und der Peripherie des Industrieroboters (unter letzterem wird die Gesamtheit aller technologischen Hilfseinrichtungen, z. B. Spannvorrichtungen, Ablagen, Paletten und Schutzvorrichtungen, verstanden, die der IR zur Erfüllung seiner technologischen Aufgabe benötigt)
— Auswahl bzw. Entwicklung des Grundgerätes (darunter wird der maschinenbautechnische Teil des IR einschließlich der Antriebe, der Meßwertaufnehmer und der Stellglieder verstanden)
— Auswahl bzw. Entwicklung der IR-Steuerung

gliedert.

Aufgrund ihrer engen Wechselbeziehungen können diese drei Teilaufgaben nur gemeinsam im engen Zusammenwirken von Technologen, Maschinenbauern und Steuerungstechnikern erfolgreich gelöst werden. Einige dieser Wechselbeziehungen, die insbesondere den Steuerungstechniker interessieren, sind im Bild 1.1 angegeben.

Bezüglich des Einsatzes lassen sich zwei Klassen von IR unterscheiden (Bild 1.2):

Die **Handhabegeräte** führen technologische Hilfsoperationen (vorwiegend Beschicken von Werkzeugmaschinen, aber auch andere Transportoperationen) aus. Sie kommunizieren relativ stark mit der den technologischen Prozeß ausführenden Einrichtung und werden mitunter auch von der dieser Einrichtung (Werkzeugmaschine) zugeordneten Steuerung mit gesteuert. Als

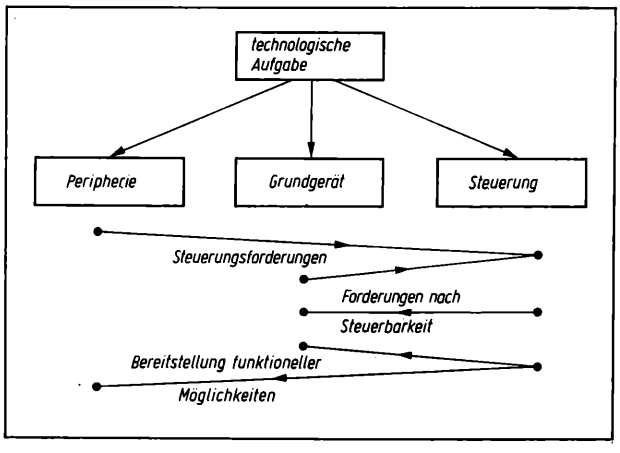


Bild 1.1 Teilaufgaben bei einem Industrierobotereinsatz

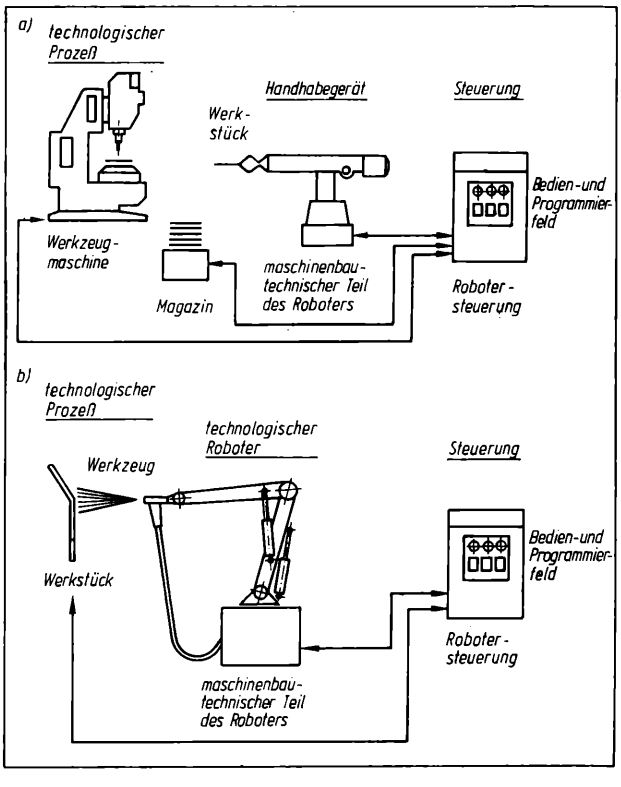


Bild 1.2 Einsatzklassen von Industrierobotern
a) Handhabegerät (nach [1.2]); b) technologischer Roboter

Bewegungsverhalten ist das sequentielle Anfahren diskreter Raumpunkte ohne funktionellen Zusammenhang der Achsbewegungen (PTP: Punkt-zu-Punktsteuerung) typisch. In einfachen Fällen, in denen mit festen Anschlägen gearbeitet werden kann, genügt eine binäre Ablaufsteuerung, bei einer größeren Anzahl anzufahrender Raumpositionen werden Lageregelkreise mit analog oder digital vorgebbaren Sollwerten eingesetzt. Im letzteren Fall spricht man auch von numerisch gesteuerten Achsen.

Der **technologische Roboter** führt technologische Hauptoperationen, wie Schweißen, Farbspritzen, Schleifen und Entgraten, selbständig aus. Er verfügt dazu über eine Steuerung, die das Programmieren und Reproduzieren von Bewegungsbahnen in mehreren Achsen gestattet (CP: Bahnsteuerung). Die Antriebe sind dazu fast immer lagegeregelt.

Etwas außerhalb dieser Klassifikation liegen IR zum Punktschweißen, die vom Einsatz her technologische Roboter sind, aber mit einer Punkt-zu-Punkt-Steuerung auskommen und die Montageroboter, für die weniger die Bewegungsqualität als vielmehr die Positioniergenauigkeit und die Kommunikation zur technologischen Umwelt die entscheidenden Kriterien sind.

1.2. Grundfunktionen einer Industrierobotersteuerung

Die Steuerung ist der Sitz der künstlichen Intelligenz eines IR. Wesentliche Robotereigenschaften, wie Programmierbarkeit, Anpassungsfähigkeit und Einsatzflexibilität, werden durch sie gewährleistet oder wesentlich mit beeinflußt.
Im wesentlichen erfüllt eine IR-Steuerung folgende Aufgaben, die insgesamt auch die Steuerungsstruktur prägen:

- Realisierung des Gesamtablaufes entsprechend dem eingegebenen Programm; dafür sorgt eine Funktionsgruppe **Programmablaufsteuerung**
- Steuerung, Koordinierung und Überwachung der Bewegungen des Grundgerätes, dafür ist die Funktionsgruppe **Bewegungssteuerung** oder Geometriesteuerung zuständig
- Kommunikation mit der technologischen Umwelt zur Koordinierung von Aktions- und Bewegungsabläufen und Synchronisation mit dem technologischen Prozeß; sie erfolgt in der Funktionsgruppe **Aktionssteuerung** (gelegentlich auch als „Technologiesteuerung" bezeichnet)
- Kommunikation mit dem Bediener/Programmierer und dem Wartungs- bzw. Instandhaltungspersonal; sie wird über eine **Dialogsteuerung** abgewickelt
- Kommunikation mit anderen (IR- oder Werkzeugmaschinen-) Steuerungen oder mit einem Leitrechner; dafür ist die Funktionsgruppe **Datenaustauschsteuerung** vorgesehen.

Bild 1.3 gibt eine Übersicht über die Schnittstellen einer IR-Steuerung und die jeweils angeschlossenen Funktionsgruppen. Je nach Einsatzfall und dadurch bedingtem Ausrüstungsgrad der Steuerung können einzelne Funktionsgruppen mehr oder weniger stark ausgebaut sein oder auch ganz fehlen. So besteht beispielsweise für ein einfaches Handhabungsgerät mit numerisch gesteuerten Achsen die Bewegungssteuerung einfach in der sequentiellen Aufschaltung des jeweils programmierten Positions-Sollwertes auf die Lageregelkreise und einer Rückmeldung nach Erreichen dieser Position, während bei einem Montageroboter die Aktionssteuerung bzw. die Prozeßanpassung (vgl. Bild 1.3) durch ein umfangreiches System zur Bildauswertung ergänzt werden kann.
„Künstliche Intelligenz" (hier stets im Sinne von Niveau und Umfang der Verarbeitungsleistung) einer Steuerung und damit des Gesamtroboters zeigt sich vorwiegend an der Schnittstelle zum technologischen Prozeß und am Mensch-Maschine-Interface. Die folgende Übersicht stellt einige wesentliche Merkmale beider Interfaces, geordnet nach Robotergenerationen, zusammen:

Generation	typisch für Schnittstelle zum technologischen Prozeß	typisch für Schnittstelle zum Bediener/ Programmierer
1.	binäre Signale zur Koordinierung und Synchronisation von Bewegungen und Aktionen	Speicherprogrammierung (Teach-in); maschinenorientierte Sprache
2.	Sensoren zur Erfassung technologischer Teilsituationen	erweiterte Teach-in-Programmierung; höhere Programmiersprachen
3.	intelligente Sensorsysteme zur komplexen Umwelterfassung; eigenständige Planung von Teilabläufen	problemorientierte Programmiersprachen; globale Programmierung mit Umweltmodell

Im Unterschied zu der bekannten Einteilung von Digitalrechnern in Generationen, die sich durch ihre Realisierungsbasis (Integrationsgrad und Art der eingesetzten Bauelemente) unterscheiden, erfolgt die Klassifizierung der Robotergenerationen nach ihrem Funktionsinhalt. Dabei nimmt die Leistungsfähigkeit mit steigender Generation zu. Damit ist der Begriff „Generationen" nicht als zeitliche Aufeinanderfolge von Gerätesystemen aufzufassen, die einander ablösen, sondern im Sinne einer sich ständig erweiternden Breite des IR-Einsatzfeldes. Für Anwendungsfälle, bei denen der Funktionsinhalt eines Roboters der ersten Generation bereits hinreicht, ist somit auch ein Generationswechsel im obigen Sinne nicht zu erwarten und nicht notwendig.

msr 7680 Prof. Dr. sc. techn. *W. Schwarz*
IH Mittweida

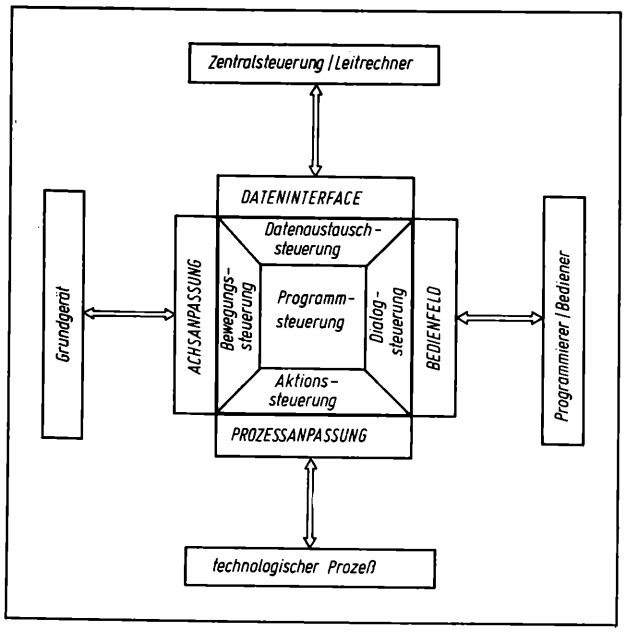


Bild 1.3. Schnittstellen und zugeordnete Funktionsgruppen einer IR-Steuerung

(wird fortgesetzt)

Elektrisches Löten — künftig nicht mehr im Geltungsbereich von TGL 30270/01 bis /03

IA 4.1.4.

Unter dem Begriff „Schweiß- und Schneidarbeiten" in der z. Z. noch gültigen Ausgabe von TGL 30270/01 [1] sind „alle Arbeiten mit Verbindungs- und thermischen Trennverfahren an festen Stoffen, z. B. Schweißen, Löten, Schneiden ...", zusammengefaßt. Lötarbeiten unterliegen demnach bisher grundsätzlich den Forderungen der Standards TGL 30270/02 und .../03 [2] und [3]. Im Gegensatz zu den sehr ausführlichen Festlegungen für das eigentliche Schweißen und Schneiden findet man jedoch nur wenige Aussagen zum Verhalten bei Lötarbeiten.

Elektrisch beheizte Lötkolben entwickeln allgemein weniger thermische Energie als Lötgeräte mit offener Flamme. Vor allem beim Umgang mit Elektro-Lötkolben kleiner Leistungen für Lötverbindungen von elektrischen Leitern geringer Querschnitte ist die Möglichkeit der Brandentstehung wesentlich niedriger zu bewerten als beim Umgang mit der „Lötlampe" oder gar mit dem Schweißbrenner. Diese Tatsache kann man bei Anwendung der TGL 30270/03 berücksichtigen. Als Arbeitserlaubnis darf auch die generelle Freigabe von Arbeitsstätten für das elektrische Löten angewendet werden, wenn der Umgang mit dem Lötkolben kein sicherheitstechnisches Risiko darstellt (z. B. in einem elektrotechnischen Betriebsraum). Die Verantwortlichen für die jeweiligen Arbeitsstätten können eine generelle Freigabe für wiederholte oder ständig wiederkehrende Lötarbeiten erteilen. Dazu muß allerdings eine betriebliche Vorschrift vorliegen, die alle arbeitsbedingt erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen regelt und konkrete Aussagen enthält, bezogen auf die spezielle Gefährdung bei ständig wiederkehrenden Lötarbeiten unter den örtlichen und betrieblichen Verhältnissen der jeweiligen Arbeitsstätte. Auch Brandschutzposten und zusätzliche Löschgeräte sind unter den genannten Verhältnissen in Arbeitsstätten niedriger Brandgefährdung nicht zwingend erforderlich.

Mit Bezug auf eine Information des Zentralinstitutes für Schweißtechnik [4] ist für das Löten mit elektrisch beheizten Lötkolben kein Schweißerlaubnisschein nach TGL 30270/01 bis /03 — Ausgabe Dezember 1978 — erforderlich, wenn das beschriebene Freigabeverfahren angewendet wird.

Demnächst sollen diese Standards für das Schweißen, Schneiden und ähnliche thermische Verfahren durch überarbeitete Fassungen ersetzt werden [5]. Der geänderte Geltungsbereich berücksichtigt den dargestellten physikalischen Sachverhalt. Vereinfachend werden „Arbeiten zum Verbinden, Trennen oder Ergänzen von Werkstoffen mittels elektrischer Lötkolben und/oder elektrisch beheizter fester, flüssiger oder gasförmiger Träger" aus der Verbindlichkeit der neuen Standards ausgeschlossen. Dafür gelten dann allgemein die Forderungen an die Sicherheit der Arbeitsmittel, Arbeitsverfahren und an das brandschutzgerechte Verhalten nach TGL 30101 [6], TGL 30102 [7] und TGL 30104 [8].

Handelt es sich jedoch um Arbeitsstätten mit erhöhter Brandgefährdung, z. B. mit den Gefährdungsgraden BG 1 oder BG 2 gemäß TGL 30042 [9], so sollten dennoch differenzierte betriebliche Festlegungen getroffen und schriftlich dokumentiert werden.

Bei Explosionsgefährdung besteht nach wie vor absolutes Verbot für Zündquellen jeder Art, also auch für elektrische Lötkolben.

Literatur

[1] TGL 30270/01: Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; Schweißen, Schneiden und ähnliche thermische Verfahren; Begriffe. Ausg. Dezember 1978.

[2] TGL 30270/02: Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; Schweißen, Schneiden und ähnliche thermische Verfahren; Sicherheitstechnische Forderungen. Ausg. Dezember 1978.

[3] TGL 30270/03: dito; Berechtigungsordnung sowie arbeitsschutz- und brandschutzgerechtes Verhalten. Ausg. Dezember 1978.

[4] *Kahl, H.:* TGL 30270/01 bis /03: „Schweißen, Schneiden und ähnliche thermische Verfahren". Arbeitsschutz in der Chemie **20** (1980) H. 3, S. 11–14.

[5] *Kahl, H.:* Folgeausgabe für TGL 30270/01 bis /03 „Schweißen, Schneiden und ähnliche thermische Verfahren" ZIS-Mitteilungen **23** (1981) H. 9, S. 1075–1090.

[6] TGL 30101: Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; Arbeitsmittel; allgemeine sicherheitstechnische Forderungen. Ausg. August 1979.

[7] TGL 30102: Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; Arbeitsverfahren; allgemeine sicherheitstechnische Forderungen. Ausg. Dezember 1977.

[8] TGL 30104 Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; arbeitsschutz- und brandschutzgerechtes Verhalten; allgemeine Festlegungen. Ausg. Oktober 1978.

[9] TGL 30042: Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; Verhütung von Bränden und Explosionen; allgemeine Festlegungen für Arbeitsstätten. Ausg. Juni 1977.

msr 7688 Obering. *J. Pester*, FUA 1.11 der KDT (Elektrotechnische Anlagen in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten)

SYNCHRON-MOTOREN

für

Automatisierung, Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik

VEB SYNCHRONMOTORENWERK

6800 Saalfeld (Saale)
Pößnecker Straße 46
Ruf: Saalfeld (Saale) 28 53/54
Telex: 58 87 13 symo dd

Kongreß zur Temperaturmeßtechnik

Vom 15. bis 18. März 1982 fand in Washington (USA) das 6. Symposium „Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry" statt. In 32 Sektionen wurden etwa 170 Vorträge gehalten. Das Programm wurde zusätzlich durch eine Reihe Postervorträge und eine Geräteausstellung von über 90 Firmen ergänzt.

Von den vielen thematischen Schwerpunkten seien folgende genannt:

- Temperaturmessung in heißen gasförmigen Medien
- Tieftemperaturmeßtechnik
- Industrieller Einsatz von Widerstandsthermometern und Thermoelementen
- Temperaturstandards, Temperaturskala, automatische Kalibration von Temperaturfühlern
- Hochgeschwindigkeits-Temperaturmessung und dynamisches Verhalten von Thermometern
- Rauschthermometrie.

Ein Mikrofiche mit den Vortragskurzfassungen kann bei der Bibliothek der Technischen Hochschule Ilmenau, 6300 Ilmenau, Postfach 327, unter der Kenn-Nummer THI BI-0-173 bezogen werden.

msr 7095 *F. Bernhard*, Vorsitzender des FUA Temperaturmeßtechnik der WGMA

II. Wissenschaftliches Kolloquium „Meß- und Prüftechnik für elektromechanische Systeme"

Am 17. und 18. März 1982 fand in Zwickau das II. Wissenschaftliche Kolloquium „Meß- und Prüftechnik für elektromechanische Systeme" im Rahmen der 4. Wissenschaftlichen Konferenz der IH Zwickau statt. Etwa 110 Fachkollegen aus dem In- und Ausland nahmen an dem 2tägigen Kolloquium teil.

Wissenschaftlicher Gegenstand des Kolloquiums waren insbesondere Meß- und Prüfprozesse für elektrische Maschinen mit Nennleistungen $P_N \leqq 10$ kW und Nennspannungen $U_N \leqq 1000$ V, wobei verfahrenstechnische Aspekte gegenüber gerätetechnischen vorrangig behandelt wurden.

Einleitend wurden von *W. Kain* (IH Zwickau) in seinem Beitrag „Einige Aspekte zur Meß- und Prüftechnik elektrischer Maschinen"[1]) Schwerpunkte, Trends und Tendenzen zu diesem Komplex aufgezeigt. Vor allem wurde auf die Bedeutung der Automatisierung und Ökonomisierung der Meß- und Prüfprozesse, der notwendigen Verringerung der meß- und prüfbedingten Vorbeschädigung von Teilen und Baugruppen elektrischer Maschinen, der Realisierung energiearmer Prozesse sowie der erforderlichen Systematisierung und Bewertung derartiger Prozesse eingegangen.

G. Müller (VEB Forschungs- und Entwicklungszentrum für Elektromaschinenbau Dresden) sprach in seinem Vortrag „Tendenzen der Entwicklung des Elektromaschinenbaus aus der Sicht der Anforderungen an die Gebrauchseigenschaften der Antriebe"[1]) sowohl zu den Aufgaben, Tendenzen und Verbesserungsmöglichkeiten der Gebrauchseigenschaften als auch über die hieraus resultierenden neuen Anforderungen an die Meß- und Prüftechnik.

W. Schubert (TU Dresden) stellte in seinem Beitrag „Untersuchungen an elektrischen Kleinstmaschinen" moderne Meß- und Prüfverfahren zur Erfassung elektrischer und mechanischer Betriebsgrößen sowie zur Beurteilung der Gebrauchseigenschaften elektrischer Kleinstmaschinen vor.

K.-H. Linsel (TH Ilmenau) befaßte sich in seinem Beitrag mit der „Windungsschlußerfassung in Erreger- und Ankerwicklung elektrischer Kleinstmaschinen"[1]). Es wurden 2 selektive Meßprinzipien behandelt und ihre optimalen Einsatzfälle angegeben.

G. Koschinsky (IH Zwickau) sprach über das Thema „Probleme der Windungsschlußerfassung bei der Impulsspannungsprüfung von Niederspannungsasynchronmaschinen"[1]). Hierbei wurde von ihm auf ein automatisierungsfähiges Meßverfahren für die Stückprüfung orientiert, bei dem als Meßpunkte lediglich die Klemmen des Motors benötigt werden.

H. Küttner (IH Zwickau) referierte über die „Prüfung elektrischer Maschinen mit dem Stoßspannungsisolationsgerät SIP 010"[1]). Die Eignung dieses Gerätes für die Blitz- und Wechselspannungsprüfung von Asynchronmaschinen im Leistungsbereich 0,1 kW $\leqq P_N \leqq$ 20 kW konnte bei einer installierten Stoßenergie von $W \leqq 10$ J nachgewiesen werden.

Der erste Veranstaltungstag endete mit einem $1^1/_2$stündigen Podiumsgespräch zu „Probleme des Einsatzes von Industrierobotern für meß- und prüftechnische Aufgaben, basierend auf den an der IH Zwickau gesammelten Erfahrungen bei der Entwicklung und Untersuchung von Industrierobotern", das von *G. Mittag*, *W. Sandner* und *B. Greger* (alle IH Zwickau) mit einem interessierten Teilnehmerkreis geführt wurde. Hierbei wurden zahlreiche praktische Probleme der automatisierten Beschickung von Meß- und Prüfeinrichtungen behandelt und Forderungen nach besserer Handhabefreundlichkeit für derartige Einrichtungen und Prüflinge erhoben.

Am 2. Tag des Kolloquiums stand die Prüfung von Asynchronmaschinen im Vordergrund.

A. Gensch (VEB Elektromotorenwerk Dessau) berichtete in seinem Vortrag „Nutzung des Überlagerungsverfahrens zur Nachbildung der mechanischen und thermischen Belastung von Drehstrommaschinen"[1]), daß die Methode — aus der Literatur als bifrequente Speisung bekannt — auch erfolgreich zur Nachbildung von Schwingungsbeanspruchungen benutzt werden kann.

Mit dem Beitrag „Zur Automatisierung eines Prüfverfahrens für Asynchronmaschinen"[1]) zeigte *J. Reinhardt* (IH Zwickau) an einem Verfahren zur Feststellung von Fehlern an Läuferkäfigen, wie schon bei der Entwicklung eines Prüfverfahrens Voraussetzungen für dessen Automatisierung geschaffen werden können. Das automatisierte Verfahren wurde vorgestellt.

J. Rusek (VR Polen) stellte unter dem Titel „Widerspiegelung der Unsymmetrie des Käfigs einer Asynchronmaschine in den elektrischen und mechanischen meßbaren Größen"[1]) Berechnungsergebnisse

[1]) Diese Vorträge sind veröffentlicht in den Wissenschaftlichen Beiträgen der IH Zwickau 8 (1982) H. 1.

dar, die zeigen, daß eine beträchtliche Widerstandserhöhung in einem Segment eines Kurzschlußringes sowohl beim Ständerstrom als auch beim Drehstrom zu Veränderungen führt.

J. Noga (VR Polen) sprach zum Thema „Zur Diagnose- und Schutztechnik der Asynchronmaschinen bei inneren Unsymmetrien". Neben anderen Problemen wurde der Zusammenhang zwischen Unsymmetrien der Ständerwicklung (Windungsschlüsse) und meßbaren mechanischen Schwingungen der Maschine behandelt.

Über „Zeitraffende Lebensdauerprüfung elektrischer Maschinen"[1]) referierte *H. Schwarz* (IH Wismar). Unter anderem wurden, ausgehend von der Tatsache, daß das Versagen der Windungsisolation die überwiegende Ausfallursache bei Asynchronmotoren ist, Ergebnisse zur Erfassung der elektrischen Festigkeit bei Zuverlässigkeitsuntersuchungen dargestellt.

W. Helbig (IH Zwickau) berichtete in seinem Beitrag „Aufnahme der Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien von elektrischen Kleinmaschinen"[1]) insbesondere über einen Versuchsstand, bei dem das Drehmoment nach dem Torsionsprinzip gemessen und berührungslos übertragen wird.

Mit einem Schlußwort des Tagungsleiters, Prof. Dr.-Ing. *W. Kain*, fand das Kolloquium seinen Abschluß.

msr 7676 *W. Kain, / J. Reinhard*

4. Wissenschaftliche Konferenz der IH Zwickau Fachgruppe T 3 „Technologische Projektierung flexibler Montageprozesse für die Großserien- und Massenfertigung"

Mit der 4. Wissenschaftlichen Konferenz „Rationalisierung im Maschinenbau" im März 1982 legte die Ingenieurhochschule Zwickau Rechenschaft ab über die Einflußnahme auf die sozialistische Rationalisierung in Betrieben des Maschinenbaus.

Anliegen der Fachgruppe T 3 „Technologische Projektierung flexibler Montagesysteme für die Großserien- und Massenfertigung" war es, durch Vorstellen neuer Forschungs- und Entwicklungsergebnisse aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Betrieben einen Beitrag zur Intensivierung und Effektivitätssteigerung in den Montageprozessen der metallverarbeitenden Industrie zu leisten. Die etwa 200 Teilnehmer an dieser Veranstaltung bekundeten großes Interesse an den in drei Themenkomplexen insgesamt gehaltenen 20 Vorträgen, mit denen die Komplexität der technologischen und arbeitswissenschaftlichen Begründung aufgezeigt und mit der Vorstellung betriebspraktischer Beispiele untersetzt wurde.

Im Themenkomplex 1 dieser Fachgruppe, in dem die „Entwicklungsrichtungen der technologischen Projektierung von Montagesystemen" behandelt wurden, zeigten *H. Zeidler* (IH Zwickau) und *M. Weise* (FZW Karl-Marx-Stadt) in ihrem Vortrag über „Entwicklungstendenzen flexibler Montagesysteme einschließlich ihrer Automatisierbarkeit" Wege und Vorstellungen über die Erhöhung der Flexibilität und Vergrößerung des Automatisierungsgrades auf. Besondere Aufmerksamkeit wurde den schwer automatisierbaren Montagen geschenkt, wo der Ersatz langer Fließreihen durch kürzere Fließreihen mit längeren Taktzeiten bei Übergang von der starren Verkettung zur losen Verkettung der Arbeitsplätze als ein Weg, die Nutzung des Prinzips der Nestmontage als ein weiterer Weg, der darüber hinaus zu einer wesentlichen Erhöhung der Flexibilität und Prozeßstabilität bei Durchsetzung progressiver Arbeitsinhalte führt, und ein dritter Weg in Form der mechanisierten Einzelplatzmontage erläutert wurden.

Der Vortrag von *U. Simon, H. Opitz* und *U. Bobe* (TH Karl-Marx-Stadt) zur „Montageautomatisierung" beschäftigte sich mit dem noch zu geringen Automatisierungsgrad in Montageprozessen und zeigte Lösungswege zur Automatisierung in Form der Montageautomaten mit produktspezifischen Einrichtungen, der flexiblen Montagesysteme, die ähnliche Produktgruppen zu montieren gestatten, und der flexiblen Montagezentren für Produktgruppen mit veränderter Struktur; die beiden letztgenannten unter Einsatz von Robotern. Wesentliche Hemmnisse bei der Anwendung werden noch in der für eine automatische Montage nicht genügenden Gestaltung der Montageeinheiten gesehen.

W. Rockstroh und *J. Fröhlich* (TU Dresden) stellten in ihrem Beitrag „Dialogprojektierung von Montagewerkstätten" eine moderne, komplexe Projektierungsmethode vor, die die Gerätetechnik der elektronischen und grafischen Datenverarbeitung nutzt. Aus der Darstellung der Kopplungsarten und Strukturen integrierter Montagen heraus wurden die Voraussetzungen zur Dialogprojektierung und die Vorgehensweise am Beispiel der Montagewerkstätten unter Verwendung von Projektbausteinen abgeleitet. Es wurden der generelle Ablauf bei der rechnergestützten Dialogprojektierung beschrieben und die Voraussetzungen ihrer Anwendung, insbesondere die erforderliche Gerätetechnik, dargestellt.

H. Schmigalla (Friedrich-Schiller-Universität Jena) befaßte sich mit „Analogien und Differenzen bei der Systematisierung der Organisationsformen der Teilefertigung und der Montage". Ausgehend von den Raum-Zeit-Beziehungen als den grundlegenden Charakteristiken der Fertigungsorganisationsformen wurden die im Projektierungsprozeß zu treffenden fertigungsorganisatorischen Entscheidungen herausgearbeitet und ein Vergleich der Organisationsformen der Teilefertigung mit denen der Montage gezogen. Dadurch gelang das Herausarbeiten einer Ordnungssystematik für Montageorganisationsformen unter Berücksichtigung der stationären bzw. ambulanten Verhaltensweise der Arbeitskräfte, Arbeitsmittel bzw. Arbeitsgegenstände.

In ihrem Vortrag „Zur technologischen Projektierung flexibler Montagesysteme der Großserien- und Massenfertigung" gingen *F. Lohwasser* und *H. Herbst* (IH Zwickau) auf die grundsätzlichen Aspekte der Gestaltung flexibler Montagesysteme ein und behandelten speziell Probleme der Strukturierung und ihrer Beziehung zur Flexibilität. Es wurden die für Fertigungssysteme begründete Systemhierarchie dargestellt und spezifische Aussagen zur Projektierungsmethodik flexibler Montagesysteme vom Typ Nestmontage gemacht.

K. Brandt (IH Zwickau) mit dem Vortrag „Montageautomatisierung mit Hilfe von Industrierobotern" und *M. Weise* (FZW Karl-Marx-Stadt) mit dem Vortrag „Projektierung flexibler Montagesysteme bei Einsatz von Industrierobotern" behandelten spezifische technologische Probleme der Montage mit Hilfe von Robotern. Dabei wurden Wege zur Entwicklung von Montagezellen aufgezeigt, die neben der Robotertechnik und ihrer Peripherie, insbesondere des TUL-Prozesses einerseits, auch die automatisierungsgerechte Konstruktion der Baugruppen in den Mittelpunkt der Betrachtungen stellen.

Der Einsatz von Robotern für Montageprozesse bedarf noch einer tieferen wissenschaftlichen Durchdringung und setzt eine sehr gründliche und umfangreiche technologische Projektierung sowie eine durchdachte Steuerung der Haupt- und vielseitigen Hilfsprozesse voraus.

Spezielle Ausführungen zu „Problemen der Kommissionierung in Nestmontagebereichen" wurden in einem Vortrag von *R. Gottert* und *J. Sprotte* (IH Zwickau) gemacht. Dabei wurden, ausgehend von den Voraussetzungen zum Entscheid zur Kommissionierung, die Schritte zur Bestimmung der optimalen Kommissionierlosgröße aufgezeigt. Über Kostenbetrachtungen wurden die wesentlichen Abhängigkeiten untersucht und Schlußfolgerungen für die Gestaltung von Kommissioniersystemen gezogen.

R. Adam (VEB Möbelwerke Gerstungen) behandelte „Untersuchungen zur Dimensionierung und Anordnung von Lagern". Im Mittelpunkt der Ausführungen standen Betrachtungen zu Kapazitätsermittlungen für Montageeingangslager vor Nestmontagebereichen. Es

wurden dafür sowohl bedienungstheoretische als auch Simulationsmodelle vorgestellt, deren Ergebnisse an einem Praxisbeispiel erläutert wurden.

E. Gottschalk und *G. Koczisky* (TH Magdeburg) sprachen zur Flexibilität von Wechselfließmontagen. Empfohlen wurde die Anwendung der Simulationstechnik zur Dimensionierung der Wechselfließmontagen und zur Konzipierung der Produktionsprozeßsteuerung.

Da insbesondere der Aspekt der kapazitiven und technologischen Flexibilität berücksichtigt wird, ist dies ein unterstützendes Hilfsmittel für den Ingenieur. Ein 2. Themenkomplex gab in 7 Vorträgen eine ausführliche arbeitswissenschaftliche Begründung und Darstellung von Gestaltungslösungen für flexible Montageprozesse.

R. Stollberg (MLU Halle-Wittenberg) erläuterte die Rolle der marxistisch-leninistischen Soziologie bei der Gestaltung progressiver Arbeitsinhalte. Anhand umfangreicher Untersuchungen wies er nach, daß das Qualifikationspotential der Werktätigen in der DDR erheblich gestiegen ist. Daraus leitet sich die Forderung nach Arbeitsaufgaben mit entsprechend gestiegenen Arbeitsanforderungen ab, um das individuelle Qualifikationsniveau maximal zu nutzen.

W. Hacker (TU Dresden) wies in seinem Beitrag den Zusammenhang zwischen dem Niveau und dem Charakter der Arbeitsaufgabe zur Persönlichkeitsentwicklung nach. Er zeigte, daß entsprechend psychologisch begründet gestaltete Arbeitsstrukturen trotz erhöhter individueller Leistung keine negativen Beanspruchungsfolgen bewirken müssen bzw. teilweise sogar zu positiverem Erleben führen. Prinzipielle Forderungen an die Gestaltung von Arbeitsaufgaben wurden als Ergebnis der Untersuchungen abgeleitet.

H. Enderlein (IH Zwickau) stellte ausführlich Vor- und Nachteile progressiver Arbeitsinhalte in flexiblen Montagesystemen vor. Am Beispiel der Nestmontage wurde die erreichbare Gestaltungsvielfalt demonstriert und gleichzeitig auf zu beachtende Schwerpunkte bei deren Einrichtung hingewiesen. Dabei wurde nachgewiesen, daß die volle Wirksamkeit von Nestmontagen nur durch Berücksichtigung gestalterischer und personeller Voraussetzungen erzielt wird.

B. Kleinow (Humboldt-Universität zu Berlin/IH Zwickau) behandelte die Strukturierung von Arbeitskollektiven für Nestmontagen. Dabei wurde auf die bestehende Unsicherheit bei einer technologisch, organisationstheoretisch und sozialpsychologisch begründeten Gruppengrößenfestlegung verwiesen. Durch eigene und Fremduntersuchungen wurden dazu Gestaltungshinweise gegeben und begründet. Das für den Techniker weitestgehend unerschlossene Feld der Kollektivzusammensetzung wurde in seiner Problemlage dargestellt und eine Lösungskonzeption angeboten.

E. Müller und *M. Glauche* (IH Zwickau) stellten eine Methodik zur Tätigkeitsstrukturierung in Montageprozessen vor. Dabei werden über eine Darstellung des Gesamtprozesses in seiner notwendigen Reihenfolge und möglichen Parallelität Ansatzstellen zur progressiven Arbeitsinhaltsgestaltung und Sicherung der Flexibilität der Lösung deutlich. Am Beispiel der vorgesehenen Nestmontage des Mokick S 51 wurden Wirkungsweise, Handhabung und Ergebnisse durch die Anwendung dieser Methodik demonstriert.

J. Strauch (IH Zwickau) sprach über Gestaltungsprinzipien zur Selbstorganisation in Montageprozessen. Er zeigte, wie die von *W. Hacker* genannten arbeitspsychologischen Gestaltungsforderungen sich in Nestmontagen realisieren lassen. Durch eine Untersuchung zur Wirkung der flexiblen Arbeitsteilung innerhalb eines Montagenestes auf die Effektivität des Prozesses wurden die Vorteile der Nestmontage nachgewiesen. Über ein Simulationsprogramm sind speziell für das Gestaltungsprinzip „flexible Arbeitsganggrenzen" Auslastungserhöhungen bei flexiblen gegenüber starren Prozeßstrukturen begründet worden.

J. Tannenhauer (IH Zwickau) und *J. Fritsch* (Kombinat Haushaltgeräte) stellten Ergebnisse der Anwendung psychologisch begründeter Trainingsprogramme in Nestmontagen vor. Es wurde in ein Trainingskonzept zum Erwerb sensomotorischer Fertigkeiten und in den Erwerb rationeller Organisationsverhaltensweisen unterschieden. Für beides konnte gezeigt werden, daß insbesondere in der Einarbeitungsphase bzw. bei Arbeitskräften aus starren Strukturen Trainingserfolge erzielt werden. Umfangreiche betriebspraktische Erprobungen bestätigten das.

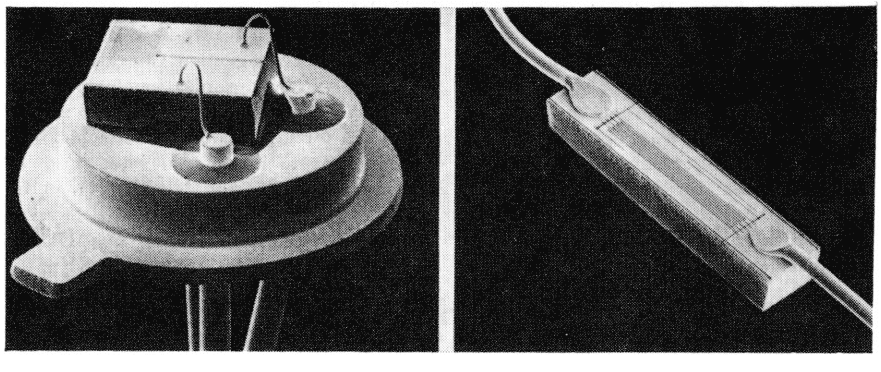
Im 3. Themenkomplex, der Vorstellung von Praxisbeispielen, sprach zuerst *H. Ledermann* (VEB FAJAS Suhl) über Erfahrungen bei der Anwendung der Nestmontage des Mopedmotors und über betriebliche Pläne zum Einsatz der Nestmontage für das gesamte Moped. Ein entsprechend gekoppeltes Vorgehen verschiedener Abteilungen des Betriebes dieser komplexen Maßnahme wurde für die Überleitungsphase als besonders wichtig hervorgehoben. Anhand eines breiten Zahlenmaterials wurde die Effektivität der Nestmontage verdeutlicht und die weitere Anwendung angeregt.

H. Schorch (VEB Karosseriewerk Meerane) stellte eine Konzeption zur Durchsetzung der Nestmontage für PKW-Karosserien vor. Damit wurde ein Anwendungsfeld der Nestmontage erschlossen, das aufgrund der Großvolumigkeit und Sperrigkeit der zu montierenden Einzelteile bisher als nicht praktikabel galt. In einer breiten und umfassenden Darstellung wurden vermeintliche Hemmnisse diskutiert und die betriebliche Lösung unter Beachtung der Ökonomie der Gesamtkonzeption und der Überleitungsphase vorgestellt. Sowohl dieses Vorhaben als das im VEB FAJAS Suhl wurden durch eine enge Zusammenarbeit mit der IH Zwickau vorbereitet und teilrealisiert.

In einem abschließenden Vortrag über Erfahrungen bei der Montageautomatisierung stellte *P. Große* (VEB Stoßdämpferwerk Hartha) das umfassende Rationalisierungsvorhaben für die Schwingungsdämpfermontage vor. Der Weg dazu führte über eine konsequente Konzentration der Produktion, die Durchsetzung der Standardisierung, eine automatisierungsgerechte Konstruktion der Erzeugnisse, die Einführung weltstandsbestimmender Technologien und die Durchführung von Weltstandsvergleichen. Es wurde eine entscheidende Vergrößerung der Mechanisierung und Automatisierung erreicht; neben der Errichtung hochorganisierter Montageformen und dem Einsatz von Fügeautomaten kam es auch zum Abbau monotoner Arbeitsverrichtungen und hochgradig arbeitsteiliger Prozesse.

msr 7668 *F. Lohwasser, J. Tannenhauer*

Bei den von der Degussa AG hergestellten Platindünnschicht-Temperaturmeßwiderständen der Typenreihe 2000 werden die Leiterbahnen mit dem Laserstrahl geschnitten. Diese Technik ermöglicht kleinste Abmessungen und hohe Nominalwiderstände. Das Bild zeigt links einen 2 × 2,3 mm großen Chip, montiert auf einer TO-18-Glasdurchführung für Transistoren, und rechts einen 1 × 5 mm großen Chip. Beide Ausführungen haben einen Nominalwiderstand von 100 Ohm.



Hannover-Messe 1982

Mit Rekordzahlen an Ausstellern, Besuchern und belegter Ausstellungsfläche fand diese größte Investitionsgüter- und Technologiemesse der Welt vom 21. bis 28. April 1982 auf dem traditionellen Messegelände statt (Bild 1), das mit neuen vielfältigen Ausstellungs- und Serviceeinrichtungen eine Stadt für sich bildet. Eine Besucheranalyse ergab ein Ansteigen der Fachbesucher auf 85% und eine Zunahme von entscheidungsbefugten Besuchern auf 41%. Die meisten Aussteller äußerten sich positiv über die Messeergebnisse 1982. Von dem vielfältigen Angebot sollen hier nur einige relevante Gebiete ausgewertet und sichtbar gewordene Tendenzen dargestellt werden.

Die Ausstellungsfläche für die Rechentechnik und Büroautomatisierung in den CeBIT-Hallen mußte erweitert werden. Die größte Messehalle der Welt, die CeBIT-Halle 1 (Bild 2), reichte nicht mehr aus, um das Vielfältige an Hard- und Software anzubieten. In der Ausstellung hielten einige Firmen offenbar Neuentwicklungen, sofern sie die Verfahrenstechnik betreffen, zurück. Wie von Ausstellern zu erfahren war, sollten diese auf der ACHEMA 82 im Juni 1982 in Frankfurt (Main) gezeigt werden. So ergaben sich folgende Schwerpunkte der Hannover-Messe 82 auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik:

- Speicherprogrammierbare Steuerungen
- Relais für die Steuerungstechnik
- Schutzeinrichtungen für Mittelspannungsnetze
- Niederspannungsschaltgeräte
- Rechnereinsatz zur Rationalisierung der Büroarbeit.

Aus der Besichtigung der Exponate und den Gesprächen mit Ausstellern können folgende Tendenzen abgeleitet werden:

- Die Elektronik dringt weiter in alle Bereiche der Wirtschaft ein, seien es elektronische Auslöser bei Niederspannungsschaltgeräten oder die Ablösung elektromechanischer Lösungen der Automatisierungstechnik.
- Es werden zukünftig Strukturen mit 16-bit-Mikroprozessoren und 8-bit-Einchipmikrorechner in einer Automatisierungsanlage angeboten.
- Es wird zunehmend versucht, Steuerungs- und Regelungsfunktionen in einer elektronischen Einrichtung zu realisieren.
- 32-bit-Kleinrechner sind im Angebot und im Einsatz.
- Bei speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) wurden keine neuen Universallösungen gezeigt. Die kostengünstigeren SPS zur Lösung eines Spezialproblems überwiegen.
- Zur Rationalisierung der Arbeitsvorbereitung setzen sich rechnergestützte Arbeitsplätze für Konstruktion, Entwurf und Technologie durch.
- Semi-Customs-Schaltkreise in Gate-Array-Technik bilden sich als kostengünstige Lösung für solche Fälle heraus, bei denen aus Gründen der geringen Stückzahl ein logischer Entwurf nicht optimal gelöst werden kann und Standard-Schaltkreise nicht zur Verfügung stehen.
- Es wird versucht, dezentrale Automatisierungsstrukturen auch auf kleinere Objektgrößen anzuwenden.

Von den **Sonderausstellungen** soll im Rahmen dieses Berichtes nur auf 2 eingegangen werden:

Dem steigenden Bedarf an Innovationen sollte die **Ausstellung Forschung und Technologie** gerecht werden. Forschungsinstitute und Betriebe stellten neue Lösungen vor, die noch nicht produziert werden, mit dem Ziel, den horizontalen Technologie-Transfer zu fördern.

Den diesbezüglichen Ausstellern ist bewußt geworden, daß sich gerade die korrespondierenden Fachmessen im Rahmen der Hannover-Messe dafür nutzen lassen, das Potential einer neuen technischen Problemlösung, einer neuen Technologie im Markt auszuloten. Für sie gibt es keinen besseren Platz als eine Messe im Investitionsgüterbereich, um selbst entwickelte Technologien möglichst breit verwerten zu können und um entsprechende Zielgruppen zu finden. Die Problemlösungen reichten dabei von der Meerestechnik bis zur Medizintechnik und von der Mikroelektronik bis zu einem Wasserstoffmotor für einen PKW eines großen Automobilkonzerns.

Zu einer Tradition der Hannover-Messe ist die **Sonderschau der innovativen Anwendung der Mikroelektronik** geworden. Gezeigt wurden effektive Lösungen der angewandten Mikroelektronik, viele davon noch nicht in der Produktion.

Dabei reichte das Angebot von der elektronisch gesteuerten Waschmaschine bis zu Robotersteuerungen und von elektronischen Sicherungseinrichtungen bis zum sprachgesteuerten Behinderten-Auto.

Von dem umfangreichen **Tagungsangebot** soll nur auf das **Bauelemente-Symposium** zum Thema „Innovative Anwendung der Mikroelektronik" kurz eingegangen werden. Auf diesem Symposium sollte versucht werden, das Problem der Anwendung der Mikroelektronik und die Konsequenzen für die Zukunft der Kommunikationstechnik zu lösen. Durch Vorträge zur Anwendung der Mikroelektronik in der Kommunikationstechnik und Ansprachen von Politikern sowohl der Bundesregierung als auch der Landesregierung Niedersachsens wurde die Grundlage für eine anschließende Podiumsdiskussion gelegt, die von einem Fernsehmoderator geleitet wurde. Diese Diskussion hatte grundsätzlichen Charakter zur Einführung neuer Kommunikationsmittel und ging auf technische Lösungen nur unwesentlich ein. Die Hannover-Messe im April 1983 wird den Schwerpunkt „Antreiben — Steuern — Bewegen" haben und Industrieroboter-Technik in den Mittelpunkt der Ausstellung setzen.

msr 7670 *H. Fuchs*

Ein Beitrag zur Vereinfachung von linearen Zustandsraummodellen durch Modellzerlegung

Erlauben die Eigenschaften eines Prozesses, ihn durch ein lineares dynamisches zeitinvariantes Modell mit konzentrierten Parametern (Originalmodell) zu beschreiben, dann kann eine zu hohe Ordnung dieses Modells eine direkte Anwendung unmöglich machen.

Für Originalmodelle hoher Ordnung sind Methoden bekannt, die die Modelle in eine handhabbare Form überführen können (Methode der Berechnung der Minimalrealisierung; Methode der Modellapproximation).
Diese Methoden haben die Nachteile, daß

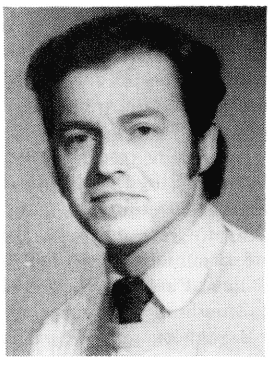
- die Ordnung eines minimal realisierten Modells nicht wesentlich geringer ist als die Ordnung des Originalmodells
- die bei der Approximation auftretenden Modellfehler zu unbrauchbaren approximierten Modellen führen können (Modellapproximation von nicht approximierbaren Originalmodellen).

In der Arbeit wird die Methode der Modellzerlegung als eine Möglichkeit der Vereinfachung von nicht approximierbaren Originalmodellen vorgeschlagen. Diese Methode ist auch eine sinnvolle Ergänzung der oben genannten bekannten Methoden, wenn sie für approximierbare Originalmodelle angewendet wird.

Bei der Methode der Modellzerlegung wird das Originalmodell in der Zustandsraumbeschreibung in ein zerlegtes Modell umgewandelt, das aus zwei Teilmodellen besteht, deren Zustände vollständig entkoppelt sind. Das zerlegte Modell weist das gleiche Eingangs/Ausgangsverhalten wie das Originalmodell auf.

Die Methode der Modellzerlegung wird genauer untersucht, wobei insbesondere an Beispielen aus ausgewählten Anwendungsgebieten (analoge und digitale Simulation, Entwurf eines dynamisch optimalen Zustandsreglers, Modellapproximation) die Vorteile der Verwendung zerlegter Modelle nachgewiesen werden.

Aus den bei den Untersuchungen gewonnenen Erfahrungen werden aufgetretene Probleme und numerische Voraussetzungen genannt.



W. Domschke (33) studierte von 1971 bis 1975 an der Technischen Universität Dresden, Sektion Informationstechnik, in der Fachrichtung Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik. Seit 1975 ist er Wissenschaftlicher Assistent an der TU Dresden, Sektion Informationstechnik, Bereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung. Zur Zeit arbeitet er an der Vorbereitung eines Mikrorechnereinsatzes zur Produktionssteuerung mit.
Dissertation A an der Fakultät für Elektrotechnik/Elektronik des Wissenschaftlichen Rates der TU Dresden; Dresden 28. Januar 1982.

Doktorand: Dipl.-Ing. *W. Domschke*
Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr.-Ing. habil. *U. Frühauf*
Gutachter: Doz. Dr.-Ing. *H. Buchta*
Prof. Dr. sc. techn. *U. Korn*
Doz. Dr.-Ing. habil. Dr. rer. nat. *K. Reinschke*

Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der TU Dresden ausgeliehen werden.

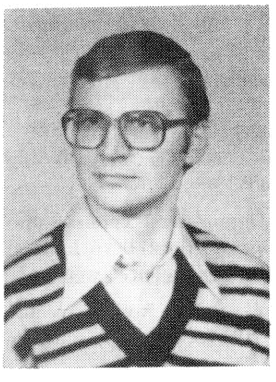
msr 7653 Dr.-Ing. *W. Domschke*, TU Dresden, Sektion Informationstechnik, 8027 Dresden, Mommsenstr. 13

Approximation neutraler Differential-Differenzengleichungssysteme mit Anwendung auf Optimierungsaufgaben

Die Arbeit befaßt sich mit sog. neutralen Differential-Differenzengleichungen, die — allgemeiner als Gleichungen mit Totzeit — auch Ableitungen mit verzögertem Argument enthalten.
Solche Gleichungen mit einer stetig differenzierbaren Anfangsfunktion sind abschnittsweise als gewöhnliche Differentialgleichungen zu lösen; dabei ist im Gegensatz zu Differentialgleichungen mit Totzeit die Ableitung nur stückweise stetig. Diese Schrittmethode versagt bei Randwertproblemen, z. B. bei Aufgaben der optimalen Steuerung. Zur näherungsweisen Lösung von Totzeitgleichungen wurde von *Repin* eine Approximation des Totzeitgliedes durch eine Kette von Verzögerungsgliedern 1. Ordnung vorgeschlagen und damit die Totzeitgleichung auf ein System gewöhnlicher Differentialgleichungen zurückgeführt. Die Anzahl der Glieder bestimmt die Ordnung des approximierenden Systems und die Güte der Approximation.

In der Arbeit wird diese Methode auf neutrale Gleichungen erweitert. Zu diesem Zweck wurde gezeigt, daß eine solche Approximation des Totzeitgliedes auch bei stückweise stetigem Eingangssignal und bei einer gleichmäßig beschränkten und konvergierenden Folge stetiger Funktionen gilt. Hierauf aufbauend wurde bewiesen, daß die Lösung des approximierenden Systems überall gegen die exakte Lösung konvergiert, während eine solche Konvergenzaussage für die Ableitung der Lösung nur abschnittsweise gilt. Der Beweis wurde intervallweise durch Übergang zur Integralgleichung und Anwendung des Lemmas von *Gronwall* durchgeführt. Zur Überprüfung der Approximationsgüte wurden numerische Rechnungen an einer Reihe von Beispielen ausgeführt, bei denen die exakte Lösung nach der Schrittmethode gewonnen wurde. Die praktische Rechnung bestätigte die durchgeführte Abschätzung, daß der Aufwand an Rechenzeit für die Integration des approximierenden Systems wegen dessen einfacher Struktur nur linear mit der Ordnung dieses Systems ansteigt.
Bei Steuerungsproblemen ist im Vergleich zu unverzögerten Systemen die Auswertung der notwendigen Bedingungen dadurch erschwert, daß die adjungierten Gleichungen ein voreilendes Argu-

(Fortsetzung auf S. 523 unten)



P. Szczepaniak wurde am 29. April 1953 in Pabianice (VR Polen) geboren. Er studierte von 1972 bis 1977 an der Fakultät für Elektrotechnik der TU Łódź in der Grundstudienrichtung Elektrotechnik, Spezialisierungsrichtung Industrielle Automatisierungstechnik. Von 1977 bis 1978 war er als wissenschaftlicher Assistent am Zentrum der Elektronischen Rechentechnik der TU Łódź tätig. Er hatte von 1978 bis 1981 eine Aspirantur an der TU Dresden, Sektion Informationstechnik, Bereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung, inne. Seit 1982 arbeitet er als Assistent am Institut für Informatik der TU Łódź.

Dissertation A an der Fakultät Elektrotechnik/Elektronik der TU Dresden, Dresden, 6. Mai 1982.
Doktorand: Dipl.-Ing. *P. Szczepaniak*
Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. *H. L. Burmeister*
Prof. Dr. habil. *E. Kacki*
Dr. sc. techn. *R. Strietzel*

Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der TU Dresden entliehen werden.

msr 7671 Dr.-Ing. *P. Szczepaniak*, Politechnika Łódźka, Instytut Informatyki, PL 90-369 Łódź, ul. Piotrkowska 220.

ursadat 4100 — ein Einrichtungssystem für Prozeßüberwachung und -registrierung im Schiffsmaschinenbetrieb

Das Einrichtungssystem ursadat 4100 aus dem VEB KEAW wurde für den Einsatz im Schiffsmaschinenbetrieb vom Institut für Regelungstechnik konzipiert und entwickelt. Es gestattet die optimale Anpassung für die Auslegungen der Schiffsbetriebstechnik:

- besetzter Maschinenraum
- unbesetzter Maschinenraum/besetzter zentraler Bedienstand
- unbesetzter Maschinenraum/unbesetzter zentraler Bedienstand
- wachfreier Hafen- und Seebetrieb

und erlaubt einen wachfreien Schiffsmaschinenbetrieb über 24 Stunden. Das System überwacht, sichert und registriert an Bord des Schiffes technologische Zustände, technologische Vorgänge und Schiffsmanöver. Die erfaßten Meßwerte werden periodisch und auf Abruf ausgedruckt.
Zum Einrichtungssystem gehören:

— Störungsüberwachungseinrichtung ursadat 4110 mit Binärsignal- und Analogwertüberwachung
Im Funktionskomplex Binärsignalüberwachung werden die von binären Gebern (Druckwächter, Temperaturwächter, Durchflußwächter u. a.) als Kontaktstellung abgegebenen Meldungen kanalweise erfaßt und in einer Alarmlogik abgespeichert. Ausgangsseitig stehen diese Meldungen für eine optische Einzelsignalstation auf einem Leuchttableau zur Verfügung. Die Einzelmeldungen werden projektabhängig über eine verdrahtete Programmierung zu Sammelmeldungen zusammengefaßt. Mit der Analogwertüberwachung werden analoge Meßwerte über Meßwertgeber aufgenommen, kanalweise verstärkt und auf die Unter- bzw. Überschreitung einstellbarer Grenzwerte überwacht.

— Abgastemperaturüberwachungseinrichtung ursadat 4120
Sie dient speziell der Überwachung der Abgastemperaturen von Antriebsdieselmotoren. Bei Grenzwertüberschreitungen werden Störungsmeldungen als optische Einzelsignalisationen ausgegeben.

— Störungsregistriereinrichtung ursadat 4130
Sie dient der Registrierung von Störungsmeldungen, die als Binärsignale von der Überwachungseinrichtung oder von Gebern angeboten werden. Die Störungsmeldung wird ausgedruckt.

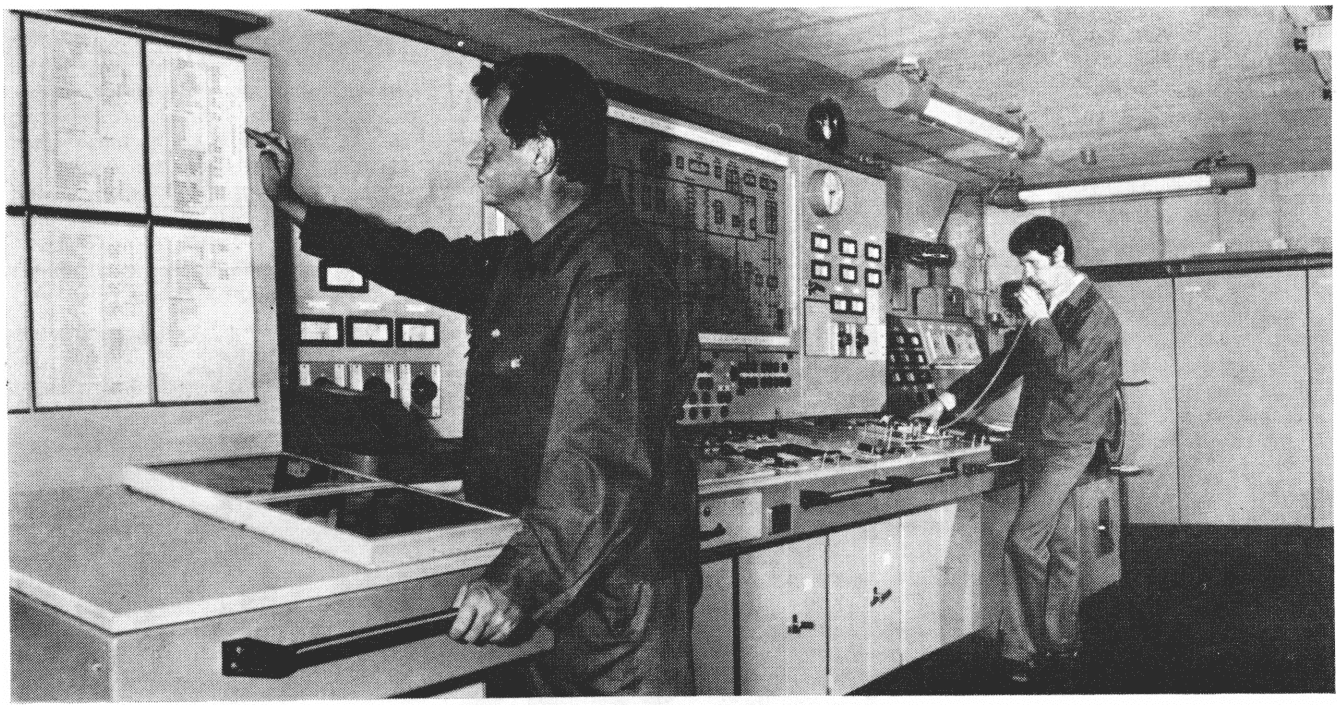
— Tagebuchregistriereinrichtung ursadat 4140
Sie führt die automatische Registrierung elektrisch-analoger Meßwerte im Maschinenbereich von Schiffen aus. Die Meßwerte werden in programmierbaren Zeitabständen zyklisch erfaßt und in digitale Informationen umgewandelt und ausgedruckt.

— Manöverregistriereinrichtung ursadat 4150
Sie nimmt die automatische Registrierung von Manöverdaten auf Schiffen vor.

— Meßwertanzeigeeinrichtung ursadat 4160
Sie entspricht grundsätzlich der ursadat 4140, jedoch Ausgabe nicht auf Druckwerk, sondern über Ziffernanzeige und Handanwahl.

Das Einrichtungssystem entspricht den Bestimmungen der DSRK, des Registers der UdSSR, des Germanischen Lloyd und Det Norske Veritas.

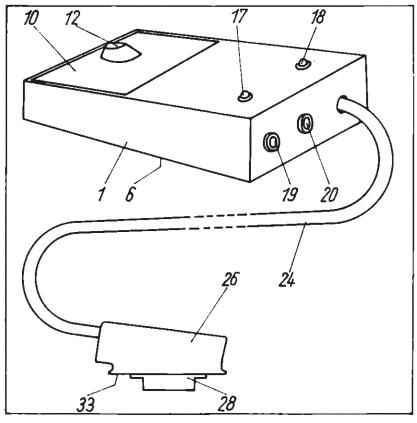
msr 7657 *H. Fuchs*



(Fortsetzung von S. 522)
ment haben und die adjungierten Variablen sprungunstetig sind. Diese Nachteile werden vermieden, wenn auf die neutrale Gleichung die Repinsche Approximation angewendet wird, die weiter den Vorteil hat, daß eine Anzahl erprobter Verfahren zur numerischen Lösung bereitsteht. Ein Konvergenznachweis wurde bisher nicht geführt. Daher wurde in der Arbeit mit Hilfe der konjugierten Gradientenmethode das Konvergenzverhalten an numerischen Beispielen untersucht. Trotz der geringen Approximationsgüte stellt das Approximationsverfahren eine Alternative zur direkten Optimierung anhand der neutralen Gleichung dar. msr 7671

Schaltkreisthermotester

Bei der Suche von temperaturabhängigen Fehlern sowie zur Ermittlung der Abhängigkeit von Schaltungsparametern vom Temperaturverhalten einzelner Schaltkreise ist die Aufheizung des betreffenden Schaltkreises notwendig. Der Schaltkreisthermotester (Bild 1) ermöglicht eine gezielte Aufheizung von Schaltkreisen.



Konstruktiver Aufbau

Der Schaltkreisthermotester (Bild 1) besteht aus einem Cu-Block *28* mit Griffstück *26*, das über ein Kabel *24* mit dem Regelteil *1* verbunden ist. Die Temperatur läßt sich über einen Regler *12* mit Skale *10* am Regelteil einstellen. Am Regelteil befinden sich Buchsen zum externen Anschluß der Stromversorgung.

Funktion

(siehe Stromlaufplan Bild 2) Der Cu-Block enthält 2 parallel geschaltete Transistoren (V7, V8) zum Aufheizen des Cu-Blockes und eine Diode (V9) als Meßfühler zur Referenzspannungserzeugung, und als Regelverstärker ist ein Schaltkreis MAA 723 (A 723) eingesetzt. Mit R 16 wird die Temperatur des Cu-Blocks eingeregelt. Über 2 Transistoren (V1, V2) werden Leuchtdioden angesteuert, die anzeigen, wenn Heizstrom fließt bzw. die eingestellte Temperatur erreicht ist.

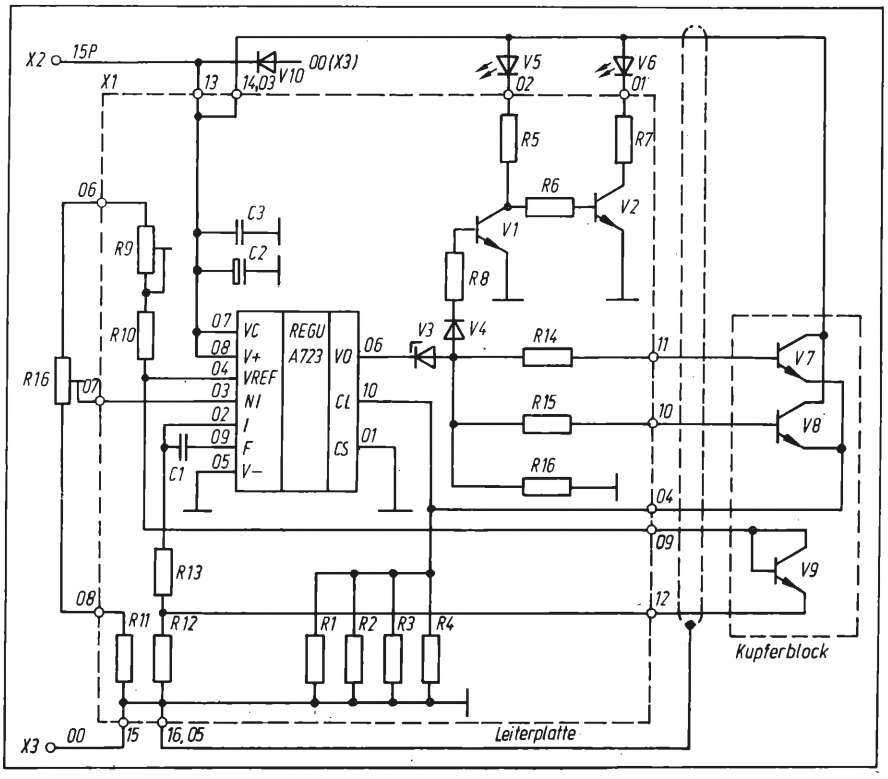
Technische Daten

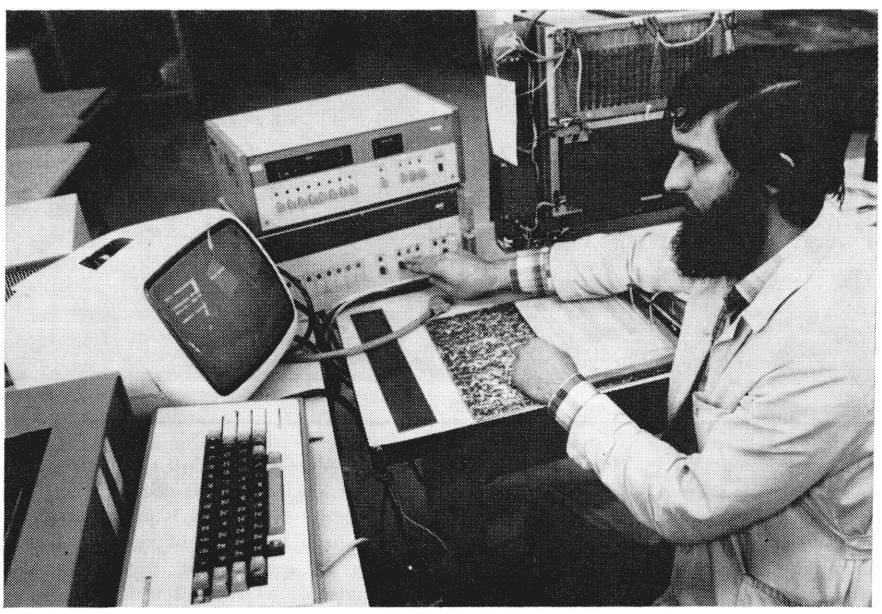
Einstellbarer Temperaturbereich	ϑ_{Block} = (40 ... 90) °C
Unsicherheit der Temperatureinstellung	$\Delta\vartheta_{Block} = \pm 2$ K
Einregelzeit der Temperatur	etwa 4,5 min
Aufheizzeit des Schaltkreises	etwa 1 min
Stromversorgung	15 V ± 5%, 0,25 A

Entwickler: Neuererkollektiv im VEB Robotron, Zentrum für Forschung und Technik.

Nachnutzung der Neuerung (NV 178/80-E) ist unter der Beachtung der dafür geltenden gesetzlichen Bestimmungen möglich.

msr 7663 *K. Müller*





Die Werke für Computertechnik in Banska Bystrica/ČSSR sind die alleinigen Hersteller eines Kleincomputersystems in der ČSSR. Teil dieses Systems ist der Mosaik-Seriendrucker EC 7934, der in hoher Stückzahl hergestellt und besonders in die UdSSR exportiert wird. Das Bild zeigt die Funktionsprüfung eines solchen Druckers.

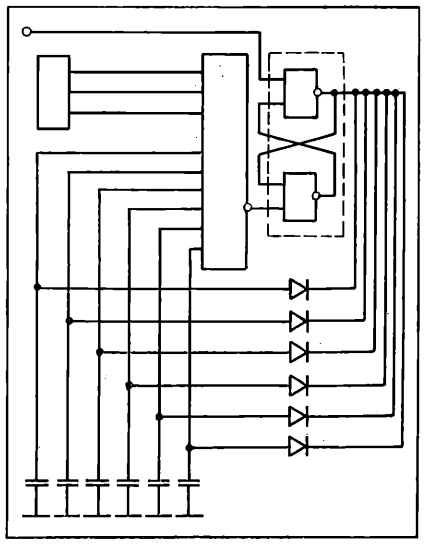
Foto: ADN-ZB

Impulsformer

DDR-WP 148578, Klasse H 03 K, Gruppe 5/00. Anmeldung: 17. April 1980, Ausgabe: 3. Juni 1981. Inhaber: Proektno-technologičeskij i naučno-issledovatel'skij institut, Jaroslavl' (UdSSR)

Die Erfindung betrifft die Impulstechnik und kann in automatisierten Systemen zur Steuerung von technologischen Prozessen und in Steuerungssystemen von Robotern und Manipulatoren eingesetzt werden. Ziel der Erfindung ist die Erweiterung der funktionalen Möglichkeiten der Vorrichtung. Der Impulsformer hat einen RS-Trigger, einen Zeitvorgabekondensator und eine Diode. Die Diodenkathode ist an den Ausgang des RS-Triggers und die Anode an eine Belegung des Zeitvorgabekondensators angeschlossen. Neu ist die Tatsache, daß in den Impulsformer zusätzlich ein Informationsregister, ein P-Kanalkommutator und eine Gruppe von (P-1) Zeitvorgabekondensatoren und (P-1) Dioden eingeführt wurden, wobei die Ausgänge des Informationsregisters mit den Steuereingängen des Kommutators verbunden, die Kathoden jeder Diode an den Ausgang des RS-Triggers, die Diodenanoden jeweils mit den Informationseingängen des Kommutators und der Inversionsausgang des Kommutators an den Stelleingang des RS-Triggers angeschlossen sind.

msr 7675



Elektronisches Prüf- und Kontrollgerät zur sicherheitstechnischen Überwachung von Produktionssystemen

DDR-WP 147087, Klasse B 65 G, Gruppe 43/00. Anmeldung: 29. November 1979, Ausgabe: 18. März 1981. Inhaber: *B. Göttert, H. Noatnick, K. Bauer, S. Krulich, K. Schöne*

Die Erfindung betrifft ein elektronisches Kontrollgerät, dessen Aufbau eine sicherheitstechnische Überwachung von mechanischen Abläufen in Produktionsprozessen zur Anzeige bringt sowie schaltungstechnisch sofort eingreift. Die Anwendung kann an getriebenen Anlagenteilen, wie z. B. Zellenräder, Dosiereinrichtungen bzw. Redlerketten in Brikettfabriken oder Antriebs- und Umlenktrommeln von Bandanlagen erfolgen.

Das elektronische Prüf- und Kontrollgerät kann je nach Anwendungszweck als Sicherheitseinrichtung zur Signalisierung optisch oder akustisch oder auch mit einem Registriergerät zur Erfassung von Betriebszuständen verwendet werden bzw. bei Disproportionen in der Produktionskette in den Betriebsablauf eingreifen.

An einem getriebenen Anlagenteil ist ein mechanisch oder berührungslos gesteuerter Impulsgeber *1* angeordnet. Parallel zum Impulsgeber *1* erfolgt der Sofortstart durch einen Arbeitsstromkontakt *2* an der elektrischen Einschaltvorrichtung der Anlage. Die verbindende Impulsleitung *3* zum elektronischen Auswertesystem *4*, welches sich in einer zentralen Schaltwarte befindet, kann in beliebiger Länge gewählt werden und unterliegt damit keinen klimatischen Bedingungen. Das elektronische Auswertesystem *4* wertet die ankommenden Impulse je nach vorgegebenen Parametern aus, wobei Abweichungen von diesen Werten gewünschte Schaltvorgänge auslösen. Ankommende Impulse werden durch eine Entkopplungsschaltung *5* von Fremdimpulsen getrennt, das elektronische Auswertesystem *4* erhält nur konkrete Impulse zugeführt.

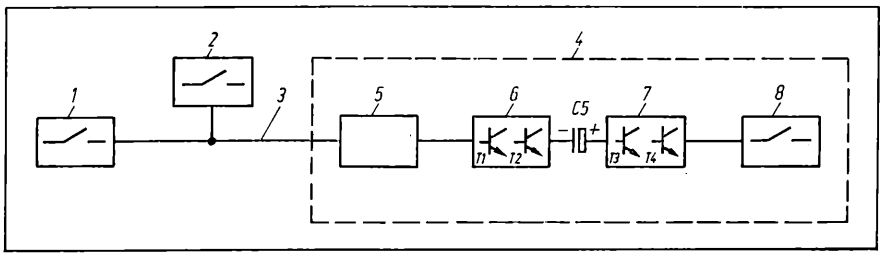
In dem elektronischen Auswertesystem *4* sind zwei hintereinander geschaltete monostabile Multivibratoren *6*, *7* angeordnet, deren labile Zustände ausgewertet werden. Durch einen negativen Impuls wird der erste monostabile Multivibrator *6* in einen labilen Zustand versetzt, Transistor T 1 wird gesperrt und Transistor T 2 wird leitend. Das nunmehr am Kollektor des Transistors T 1 anliegende positive Spannungspotential bewirkt das Ansprechen einer Sicherheitskette *8*. Nach Ablauf einer durch ein Zeitglied einstellbaren Abfallzeit wird der erste monostabile Multivibrator *6* in seine stabile Ausgangslage zurückgekippt. Am Kollektor des Transistors T 1 entsteht ein negativer Signalsprung, der den zweiten monostabilen Multivibrator *7* ankippt und ihn in einen labilen Zustand versetzt, so daß die Sicherheitskette *8* jetzt von diesem angesteuert wird.

Ein Kondensator C 5 verhindert dabei einen kurzzeitigen Abfall der Sicherheitskette *8* zwischen den labilen Zuständen der monostabilen Multivibratoren *6* und *7*. Gelangt in der durch die Zeitglieder einstellbaren Zyklenzeit kein negativer Impuls an den Transistor T 1, so wird die Sicherheitskette *8* außer Funktion gesetzt, womit das elektronische Auswertesystem *4* in den Funktionsablauf der Anlage sicherheitstechnisch eingreift. Rechts- oder Linkslauf der zu überwachenden Anlagenteile ist für die Funktion des Prüf- und Kontrollgerätes unerheblich, ebenso ist seine Einsatzmöglichkeit bei sehr niedrigen Drehzahlen möglich.

Durch die Erfindung wurde eine elektronische Schaltungsanordnung zur Überwachung von Produktionsprozessen geschaffen, die unabhängig vom jeweiligen Schaltzustand der rotierenden oder sich bewegenden Anlagen und Anlagenteile eingreift und die unabhängig von der Überwindung von Schlupf- oder Anlaufzeiten, der Entriegelung der Anlagen, langen Übertragungswegen oder elektrischen Schutzmaßnahmen ist.

msr 7673

1 Impulsgeber; 2 Arbeitsstromkontakt; 3 Impulsleitung; 4 Auswertesystem; 5 Entkopplungsschaltung; 6, 7 Multivibrationen; 8 Sicherheitskette; T1, T2, T3, T4 Transistoren; C5 Kondensator



„Moderne Technik von gestern" — eine Ausstellung zur Geschichte der Elektrotechnik und Automatisierung

IA 6.1.

1. Inhalt der Ausstellung

Vom April bis Juli 1981 fand im Alten Rathaus Leipzig eine Ausstellung zum oben genannten Thema statt. Diese Ausstellung wurde vom FUA „Geschichte der Automatisierungstechnik" der WGMA und der AG „Gerätesammlung" der TH Leipzig vorbereitet und gemeinsam mit dem Museum für Geschichte der Stadt Leipzig veranstaltet. Seit der ersten Veranstaltung der AG „Gerätesammlung" 1975 [1] sind von der AG mehrere Ausstellungen mit zunehmender Qualität und Quantität gezeigt worden. Einen neuen Qualitätssprung und damit den Abschluß einer zweiten Entwicklungsetappe des Gesamtvorhabens gemäß [1] hat die Ausstellung im Alten Rathaus gebracht.

Neben zahlreichen anderen Fakten hatte die Ausstellung das in [2] Beschriebene zum Inhalt. Sie war in folgende zwei Bereiche gegliedert:

— Historisches Praktikum
— Berichtender Teil.

Das „historische Praktikum" — die jüngste Entwicklung der AG — enthielt funktionsfähige Gerätekomplexe, die so gestaltet waren, daß sie von den Museumsbesuchern selbst in Gang gesetzt werden konnten (Tafel 1; Beispiele Bilder 1 bis 4 und 8). Es gab den Besuchern Gelegenheit, sich je nach persönlichem einschlägigem Bildungsstand mit den historischen Objekten experimentell auseinanderzusetzen. Der „berichtende Teil" (Tafel 2; Beispiele Bilder 5 bis 7) diente dem theoretischen Studium einschlägiger historischer Fakten und Ereignisse. Entsprechend dem Wunsch und der Qualifikation der Betrachter machte es die gesamte Ausstellung möglich, mehr oder weniger tief in das gebotene Ideengut einzudringen. Zwei Betrachtungsbeispiele unterschiedlicher Tiefe seien zum Funktionskomplex Nr. 4 (Tafel 1) geschildert.

Tafel 1. Funktionskomplexe des „historischen Praktikums"

Nr.	Komplex	Funktionsobjekte	Bedienungselemente	Beobachtungseffekte
1	2	3	4	5
1	Fundamente der Automatisierungstechnik, ab 1765	Fliehkraftregler (Baujahr 1912; Masse etwa 200 kg; vormaliger Nutzer: VEB Dachziegelwerk Forberge)	Kurbel für manuellen Antrieb	Mechanisches Funktionieren
2	Historische Beispiele der Betriebsmeßtechnik, etwa ab 1900	Elektrischer Schalttafelspannungsmesser (um 1900; [3] Bild 8; [4]; vormaliger Nutzer: ehemalige Ing.-Schule für Schwermaschinenbau und Elektrotechnik Leipzig)	Taster für elektrische Spannungszuführung	Innerer Aufbau und Bewegung des Meßwerkes
		Photometer (1908; [2] Bilder 1 und 2; [5]; vormaliger Nutzer: VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht")	Stellschraube mit verschiebbarem Lichtfilter für Helligkeitsabgleich	Helligkeitsabgleich zwecks Lichtstärke- (in Maßeinheit Hefner-Kerzen) bzw. Glühtemperaturmessung
3	Mechanisches Automatisierungsprinzip, entwickelt um 1930	Getriebe für Meß- bzw. Regelzwecke (Eigenbau Leunawerke um 1935; [3] Bild 10; [6]; vormaliger Nutzer: VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht"	Taster für elektromotorischen Antrieb, Schalter für periodisches Hubsignal $\pm x$ (≙ Regelgröße)	Bildung $\lvert\pm x\rvert$ mit Wendegetriebe, $\Sigma\lvert x\rvert$ mit Summiergetriebe, Signalspeicherung mit Getriebe-Sperrklinkensystem; grafische Aufzeichnung auf Trommelskala
4	Elektrisches Automatisierungsprinzip, etwa 1935	Regelkreis: Ringwaage, Tastbügelregler, Stellmotor (Bild 8; [3] Bilder 7, 2, 6; [7]; VEB Heizwerk Oelsnitz) mit nachgebildeter Strecke	Taster für Zuführung elektrischer Versorgungsenergie, Taster für pneumatisches Drucksignal (≙ Regelgröße)	Bewegung der Ringwaage, elektromechanische Bewegungen im Tastbügelregler, Bewegung einer Drosselklappe durch den Stellmotor
5	Pneumatisches Automatisierungsprinzip, entwickelt etwa 1935	Ventilstellantrieb mit Druckregler MD 363 (Baujahr etwa 1955; Bild 1; [2] Bild 11; vormaliger Nutzer: VEB Chemische Werke Buna)	Taster für Zuführung pneumatischer Versorgungsenergie, Taster für Drucksignal (≙ Regelgröße)	Bewegung der mechanisch-pneumatischen Elemente (Düse-Prallplatten-System, Röhrenfedern), Hubbewegung des Ventilstellantriebes
6	Elektropneumatisches Automatisierungsprinzip, etwa 1955	Regelkreis: Elektrischer Regler EGP 72, elektropneumatischer Wandler, Ventil (Bild 2; [2] Bilder 12 und 20; [3] Bild 9; vormalige Nutzer: VEB Chemische Werke Buna/VEB Mertik) mit simulierter Strecke	Taster für Zuführung pneumatischer Versorgungsenergie, Drehwiderstand für elektrisches Signal (≙ Regelgröße)	Veränderung elektrischer Werte durch Regler (Brückenverstimmung), Bewegung des Drehspul-Düse-Prallplatte-Systems im Wandler, Hubbewegung im Ventil („Zuführung" großer Stellkräfte durch dünne Schläuche)
7	Elektromechanischer Meßwerkregler, entwickelt etwa 1955	Elektromotorischer Meßwerkregler „Galva" (Bild 3 rechts; vormaliger Nutzer: VEB Chemische Werke Buna)	Taster für Zuführung elektrischer Versorgungsenergie, Drehwiderstand für elektrisches Signal	Funktionieren der inneren Elektromechanik, Anzeige von elektrischen Istwerten, Signalisierung von positiven und negativen Toleranzüberschreitungen
8	Prozeßrechner in der Automatisierung, seit etwa 1970	Schreibautomat, Steuerpunkt, Lochbandstanzer, Lochbandleser des Prozeßrechners PR 2100 (Bild 4; vormaliger Nutzer: VEB Kraftwerk Elbe, BT Lippendorf)	Tastaturen des Schreibautomaten und Steuerpultes	Funktionieren des Schreibautomaten und der Lochbandgeräte

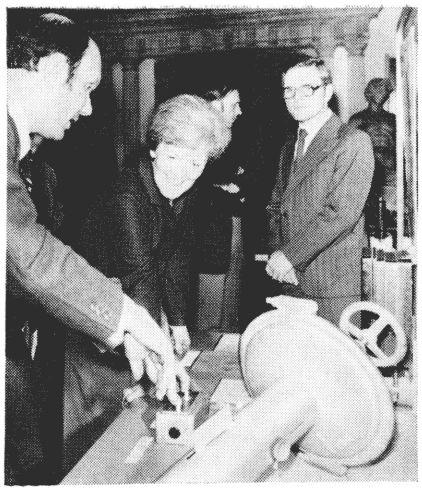


Bild 1. Pneumatische Regelungseinrichtung mit Druckregler MD 363 (rechts hinten, in Seitenansicht) gemäß [2] Bild 11 und einem Ventilstellantrieb (Erstkonstruktion des Reglers um 1935)

Bild 2. Elektropneumatische Temperaturregeleinrichtung mit elektrischem Regler EGP 72 gemäß [2] Bild 12, Strom-/Druckumformer gemäß [2] Bild 20 und Ventil (Baujahr um 1955)

Bild 3. Funktionsversuche am Aufbau gemäß Bild 2 und an einem elektromotorischen Meßwerkregler „Galva" (rechts); etwa von 1955

2. Beispiel einer einfachen Funktionsbetrachtung

Der Komplex (Bilder 8 und 9) zeigt die Funktion eines Regelkreises zur automatischen Luftversorgung des Feuerungsraumes einer ehemaligen Kraftwerkskesselanlage des Heizwerkes Oelsnitz. Zugeführt wird die Luft durch ein Rohr, das mit einer Blende zur Messung und einer Drosselklappe zur Regelung der durchfließenden Luftmenge ausgestattet ist. Über zwei Schläuche wird die Druckdifferenz, die zwischen beiden Seiten der Blende entsteht, zu einer Ringwaage ([3], Bild 7) übertragen. Entsprechend der Größe des Differenzdruckes und somit der Luftdurchflußmenge dreht sich das Rohr der Ringwaage um seinen Kreismittelpunkt. Die Drehbewegung wird gleichzeitig auf den Schleifer eines angebauten Drehwiderstandes übertragen. Der Drehwiderstand ist Bestandteil einer Wheatstoneschen Brücke. Bei Verdrehung des Drehwiderstandes aus seiner Ruhestellung verstimmt sich die Brücke und gibt eine entsprechende Spannung an einen nachfolgenden Regler ab. In dem Regler befindet sich ein Drehspulmeßwerk, dessen Zeiger entsprechend der Brückenausgangsspannung ausschlägt. Die Zeigerstellung wird von einem mechanischen Tastsystem periodisch abgetastet. Gekoppelt mit dem Tastsystem werden im Abtastrhythmus Quecksilberkontakte gekippt und damit impulsförmig ein elektrischer Stellmotor geschaltet. Der Stellmotor treibt die Drosselklappe an.

Je nach Polarität und Größe der Abweichung der durchfließenden Luftmenge von ihrem Sollwert wird die Drosselklappe in entsprechender Richtung und in Schritten entsprechender Größe verdreht.

Der Funktionskomplex läßt sich mit Tastern in Gang setzen. Die einzelnen Ablaufbewegungen können dabei beobachtet werden. Ein Übersichtsschaltbild sowie zugehörige Beschreibungen bzw. Dokumente dienen zur Anleitung für den Betrachter.

3. Beispiel einer tiefergehenden Analyse

Das vorgeführte Wirkungsprinzip gemäß Abschn. 2. (Bild 9) enthält als Kernstück eine Wheatstonesche Brücke mit mehreren variablen Widerständen. Daraus ist (für $W_a \to \infty$) ablesbar:

$$U_a = U_e \times \times \left(\frac{1}{1 + \dfrac{W_2 + W_2'}{W_1}} - \frac{1}{1 + \dfrac{R + R'}{T_1 + T_2}} \right), \tag{1}$$

$U_a \neq 0 \curvearrowright U \neq 0$: Verstellung der Drosselklappe gemäß sgn U_a;

$U_a = 0$, wenn $\dfrac{W_2 + W_2'}{W_1} = \dfrac{R + R'}{T_1 + T_2}$

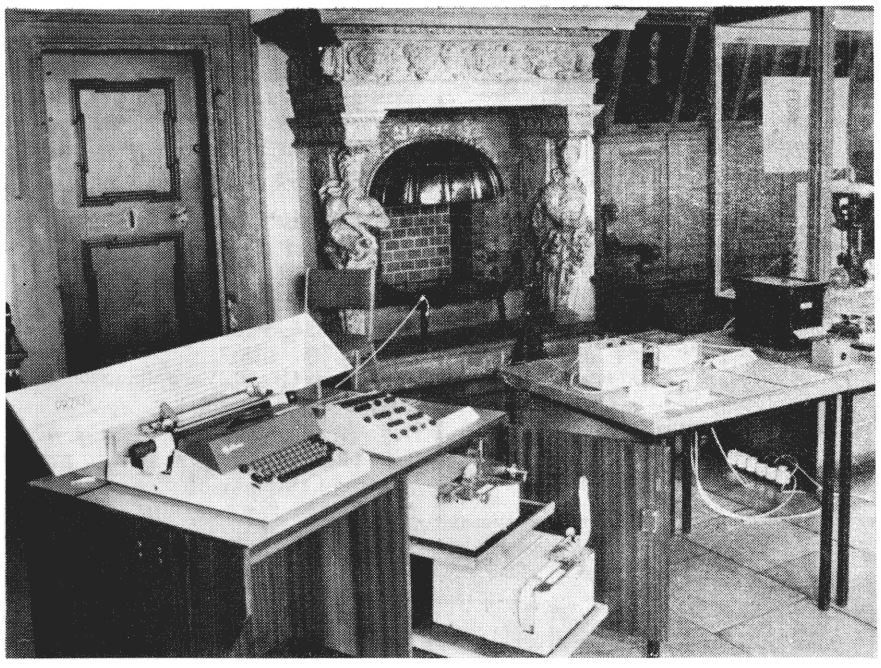


Bild 4. Periphere Einrichtung des Prozeßrechners PR 2100 von 1970

(Gleichgewicht, entsprechend Sollwert bzw. Führungsgröße abgestimmt).
Somit ist die Regelabweichung

$$U_a = U_a(T_1, T_2, R, R', W_2') \,. \qquad (2)$$

T_1, T_2 Brennstoffzufuhr
R Luftzufuhr
R', W_2' vorgegebenes Brennstoff/Luft-Verhältnis

Wie im Archiv der AG Gerätesammlung nachzulesen ist [16], geht die Oelsnitzer Kesselregelungsanlage auf Ideen zu ersten Mehrgrößenregelungen im Jahre 1929 zurück. Zur damaligen Zeit wurden Kesselanlagen überwiegend von Hand geregelt bzw. arbeiteten selbsttätige Regelungseinrichtungen auf mechanisch-hydraulischer Grundlage. Für die Beherrschung der zunehmenden Vielgestaltigkeit der Kesselregelungen waren die genannten Verfahren ungeeignet. Man fand die elektrische Form der Kesselregelung als optimale Variante hinsichtlich „bequemster Zentralisierung, sicherster Kräfteübertragung und bester Anpassungsfähigkeit" sowie hinsichtlich „Zuverlässigkeit" und „Rücksicht auf die mögliche Preisgestaltung".
Nach [16] hatte eine derzeitige selbsttätige Kesselregelung folgende Aufgaben zu erfüllen.

- Genaue Anpassung der Brennstoffzufuhr an die Belastung bei der Erzeugung der erforderlichen Dampfmenge und konstantem Kesseldruck
- Bemessung des Luft/Brennstoff-Mengenverhältnisses auf günstigsten Luftüberschuß bei der Verbrennung, bei allen Belastungen und unabhängig vom Brennmaterial und Kesselzustand
- Anpassung des Feuerraumunterdruckes an die Anforderungen der Feuerung.

Die informationstechnische Zusammenführung der zugehörigen Parameter geschah nach den vorliegenden Sachzeugen mit Wheatstoneschen Brücken, z. B. gemäß Bild 9 und Gln. (1) und (2). Die „einzelnen Regelorgane" [16] dazu waren folgendermaßen ausgeführt:

Brückenrelais [16] und [17]:

Der Zeiger eines Drehspulmeßwerkes (Widerstand W_a im Bild 9) bewegte sich zwischen Tasthebeln, die von einem Asynchronmotor über eine Nockenscheibe und einen Kupplungsbügel periodisch gehoben und gesenkt wurden (Bild 10). Bei Mittelstellung des Zeigers verlief die Tasthebelbewegung ungehindert. Bei Zeigerausschlag dagegen war die Aufwärtsbewegung des betreffenden Stufenbleches gehemmt. Das geschah um so länger, je größer der Zeigerausschlag, d. h. je höher die vom Zeiger blockierte Stufe des Stufenbleches war. Der so gehemmte Tasthebel knickte in seinen Gelenken gegen einen Kupplungsbügel ein und betätigte die entsprechenden Quecksilberkontakte. Nach dem darauffolgenden Senken des Tasthebels gingen die Kontakte in ihre Ruhelage zurück. Der Vorgang begann wieder neu usw. Die Quecksilberkontakte steuerten den Stellmotor. Mit anderen Worten entstanden auf elektromachanischem Wege längenmodulierte Rechteckimpulse. Das Brükkenrelais verkörpert einen diskontinuierlichen, pulslängenmodulierten Regler ([3], Bild 2). Sein Ausgangssignal (Bild 9) war:

$$U = U(\alpha(|U_a|, \operatorname{sgn} U_a), T, t) \,.$$

α Zeigerausschlag
T Periodendauer der Tasthebelbewegung
t Impulslänge der Reglerausgangssignale

In dem Regler gemäß Abschn. 2. (Tastbügelregler) ist eine Brücke mit Brückenrelais nach dem geschilderten Prinzip enthalten.

Rückmeldeorgane [16]:

Die Brückenwiderstände T_1, T_2 und R (Bild 9) stellten Widerstandsgeber dar, die bei geeigneter Montage Drehbewegungen verschiedenartiger Meßgeräte auf elektrischem Wege fernübertragen konnten (eine Art Drehmelder), z. B. von einer Ringwaage, einem Tachometer u. a. m. Eine sehr frühe Ausführung war ein Schleifdrahtgeber aus dem Jahre 1916 [18], sehr oft im Gebrauch waren und sind Drehwiderstände üblicher Bauart, als sehr präzise Ausführung wurde gemäß [16] das Ringrohr [19] benutzt. Das Ringrohr bestand aus einer kreisförmig gebogenen Glasröhre (Bild 11), die im Inneren mit einer Widerstandsspirale (Platinlegierung) ausgerüstet war, um-

Bild 5. Vom Relais zur Elektronenröhre

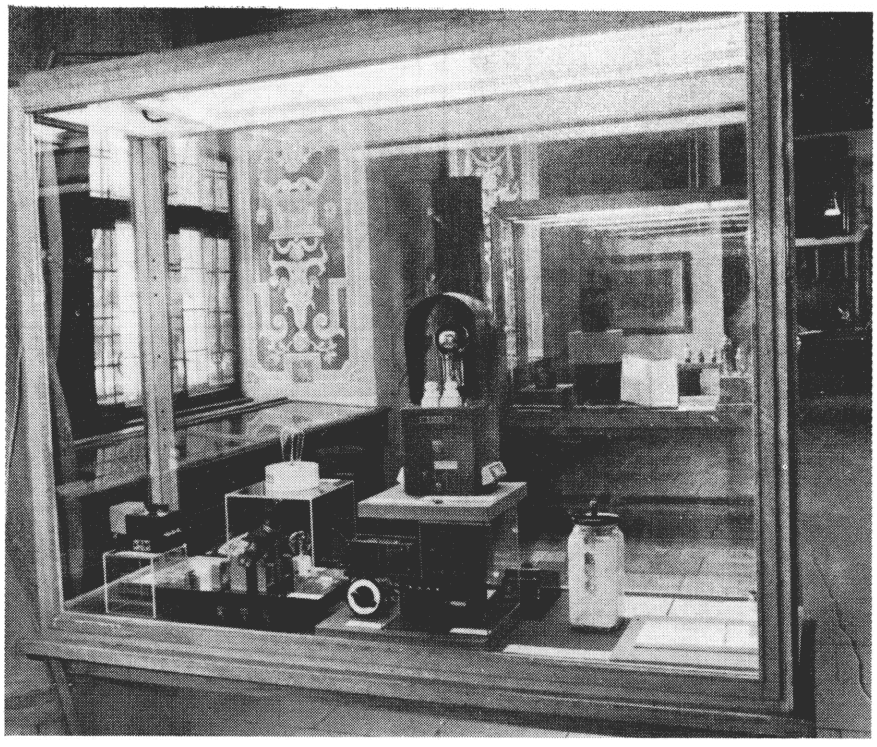


Bild 6. Sachzeugen der Leistungselektrik 1908 bis heute

geben von Quecksilber. In der Ruhestellung des Ringrohres wurde die gesamte Spirale vom Quecksilber kurzgeschlossen, der Widerstand zwischen beiden Anschlüssen war Null. Bei Drehung des Ringes tauchte ein Teil der Spirale aus dem Quecksilber heraus, ein entsprechender Widerstandswert ergab sich. Bei zusätzlicher Benutzung eines Mittelabgriffes ergaben sich sogar in Abhängigkeit von einer mittleren Nullstellung vorzeichenbehaftete Widerstandswerte [20]. Allgemein war somit der eingestellte Ringrohrwiderstand

$$R \sim \varphi \cdot \operatorname{sgn} \varphi \,.$$

φ Drehwinkel

Die Meßgeräte für die zugeführten Brennstoffmengen (Bild 9) waren nach dem Fliehkraftreglerprinzip arbeitende Tachometer. Als Meßgeräte für die Luftzufuhr benutzte man ursprünglich einen „Differenzzugmesser" [16]. Er bestand aus einer in Wasser schwimmenden Glocke, die beiden Meßdrücken ausgesetzt war. In späteren Jahren kam — wie in der Oelsnitzer Anlage — die Ringwaage zur Anwendung.

Die Ringwaage (Bild 12) — früher auch bezeichnet als Kreisrohrmanometer oder Druckwaage [21] — stellt ein Flüssigkeitsmanometer, eine Art U-Rohrmanometer dar. Beiden Ringrohrkammern werden unterschiedliche Drücke zugeführt, die Druckdifferenz Δp verschiebt die Sperrflüssigkeit entsprechend (Druckausgleich zwischen Flüssigkeit und angrenzendem Druckmedium: meist Luft), die unterschiedlichen Drücke wirken auf die Trennwand, das Kreisrohr wird um den Winkel φ gedreht. Im Gleichgewichtszustand sind dann die Drehmomente:

$$RF\Delta p = Ga \sin \varphi$$

$$\sin \varphi = \frac{RF}{Ga} \Delta p \,. \tag{3}$$

Dagegen gilt für U-Rohrmanometer der ursprünglichen Form (Bild 13):

$$h = \frac{\Delta p}{\gamma} \,. \tag{4}$$

γ Dichte der Sperrflüssigkeit

Die Anzeigeempfindlichkeit für h in Gl. (4) ist nur von der Flüssigkeitsdichte γ abhängig und somit konstruktiv nicht weiter beeinflußbar. Außerdem benötigt man zwecks Ablesung der Höhendifferenz h ein transparentes Rohr (Glas), das nicht mit allzu hohen Drücken belastet werden darf. Wesentliche Vorteile demgegenüber bietet die Ringwaage, wie an Gl. (3) abzulesen ist. Die Anzeigeempfindlichkeit für φ ist mit den konstruktiven Größen R, F, G, a in weiten Grenzen beeinflußbar. Da zwecks Ablesung des Anzeigewertes kein transparentes Rohr erforderlich ist, kann ein Rohrmaterial für sehr hohe Absolutdrücke verwendet werden (z. B. Stahl). So wurde mit der Ringwaage ein Differenzdruckmeßgerät entwickelt, das dem U-Rohrmanometer sehr weit überlegen ist. Eine Ringwaage nach dem geschilderten Prinzip ist in dem Aufbau nach Abschn. 2. enthalten.

Für die Regelung des Brennstoff/Luft-Verhältnisses waren die Widerstände R' und W_2' (Bild 9) zu verändern. Als Regler hierzu diente ein Fallbügelregler, dessen Eingangssignal (Regelabweichung) an einer eigenen Brücke gemessen wurde. Ein Widerstand dieser Brücke war temperaturabhängig. Er wurde vom Rauchgas angeblasen, dessen Wärmeleitfähigkeit vom CO_2-Gehalt abhängig ist und somit den temperaturabhängigen Brükkenwiderstand quantitativ beeinflußte [22]. Eine entscheidende Empfindlichkeitserhöhung hatte man durch die Einführung von CO-Messern herbeigeführt. Hier wirkte der temperaturabhängige Brückenwiderstand (z. B. aus Platin) katalytisch auf eine CO-Verbrennung. Er leitete die Verbrennung bei wesentlich tieferen als den üblichen Temperaturen ein. Dadurch wurde der Brückenwiderstand seinerseits so stark erwärmt, daß verhältnismäßig große Widerstandsän-

Bild 7. Von der Chassiskonstruktion mit Elektronenröhren 1928 zur Mikroelektronik heute

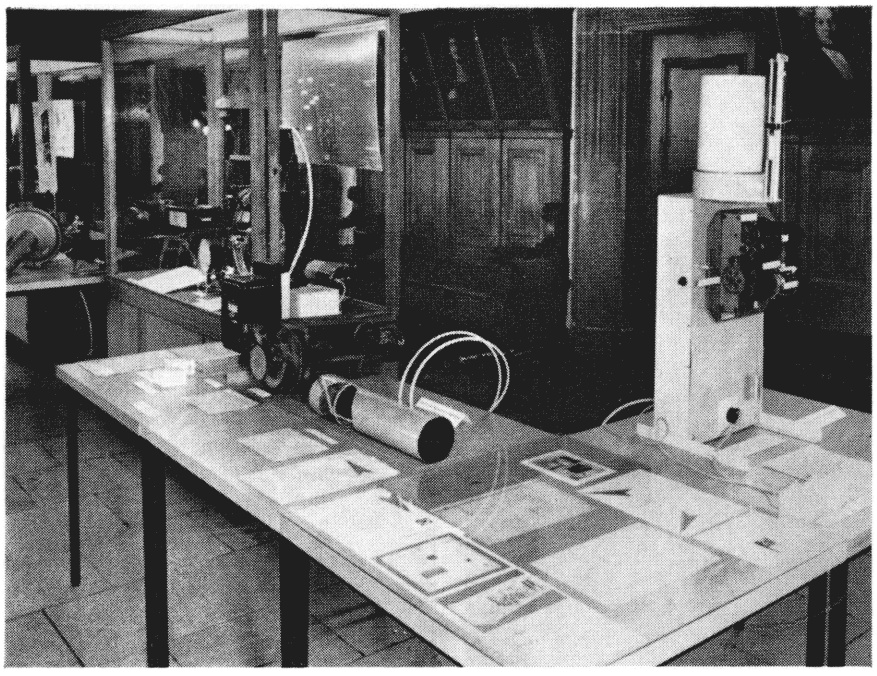


Bild 8. Aufbau des Praktikumskomplexes gemäß Tafel 1, Nr. 4, mit historischen Sachzeugen einer ehemaligen Kesselregelungsanlage des Heizkraftwerkes Oelsnitz

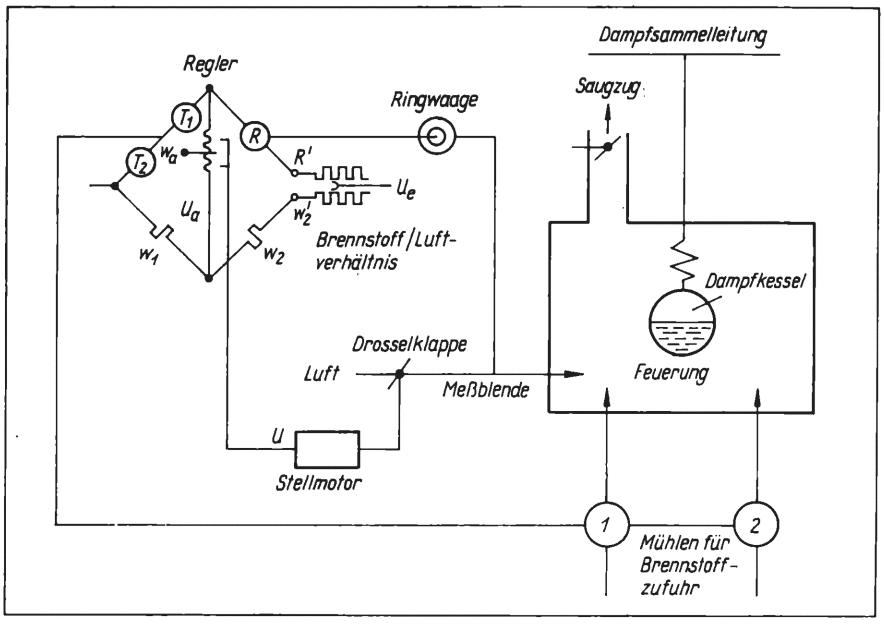


Bild 9. Übersichtsplan zum demonstrierenden Teil gemäß Tafel 1, Nr. 4

W_1, W_2, W_2', R, R', T_1, T_2 Widerstände; U Steuerspannung für Stellmotor

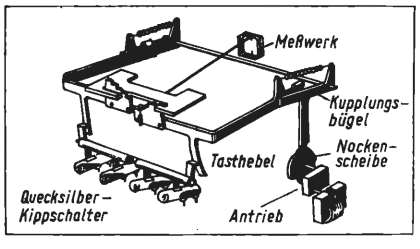


Bild 10. Aufbau des Brückenrelais

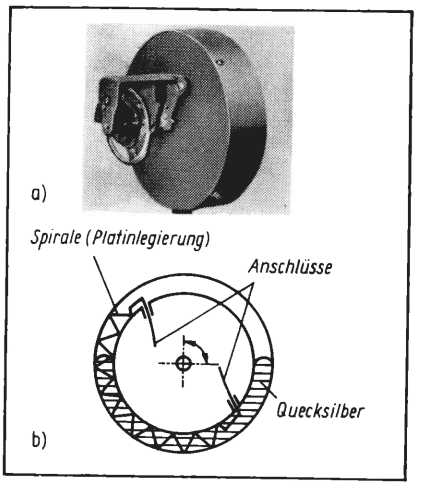


Bild 11. Ringrohr

a) montiert an einem Druckmesser; b) Prinzip

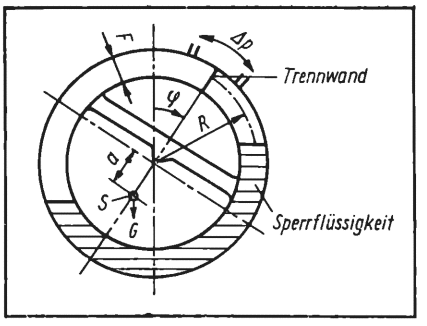


Bild 12. Prinzip einer Ringwaage

F Ringrohrquerschnitt; R Ringrohrradius; S Schwerpunkt; G Eigengewicht des Kreisrohres; Δp Druckdifferenz; φ Drehwinkel; a Schwerpunktabstand zum Auflager

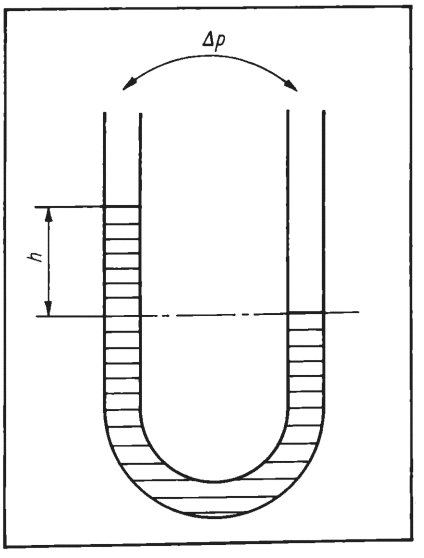


Bild 13. Prinzip eines U-Rohrmanometers

derungen eintraten und die Brücke verstimmten [22].

Steuerung der Luftzufuhr:

Dazu diente ein Getriebe mit einem Elektromotor für Rechts- und Linkslauf. Endausschalter — für beliebige Drehwinkel der Getriebewelle einjustierbar — schalteten den Motor an den beiden Stellgrenzen ab. Gesteuert wurde der Motor direkt von den Quecksilberkontakten des Reglers ohne Zwischenglieder.
Ein solcher Stellmotor ist im Aufbau nach Abschn. 2. enthalten.

4. Schlußfolgerungen aus den Betrachtungen

Schon die einfache Funktionsbetrachtung gemäß Abschn. 2. bietet einem polytechnisch geschulten Nichtfachmann ein reiches Erlebnisfeld. Mit der Ingangsetzung verschiedenartiger Funktionselemente erhält man einen Eindruck der Leistungsfähigkeit unserer Vorgänger in erfinderischer und konstruktiver Hinsicht. Die taktile Kommunikation der Betrachter mit den historischen Sachzeugen, die beobachtbaren Bewegungsabläufe der klassischen Objekte und das Zusammenspiel ihrer Funktionskomplexe tragen zur Überzeugung des Betrachters bei, daß Technik nicht

Tafel 2. Exponate des „berichtenden Teiles"

Komplex	Objekte	Einiges aus dem Erkenntnisinhalt
Energiequellen der Menschheit von der Urzeit bis heute	Tafel mit illustrierenden Druckschriften (Text, Bilder)	Historische Linien der Energienutzung: Menschliche Muskelkraft, tierische Kräfte, Wind-, Wasser-, Dampfenergie, Elektroenergieversorgung, RGW-Verbundnetz; enormes Leistungsvermögen durch geschickte Anwendung technischer Möglichkeiten u. a.
Elektrotechnik 1820 bis heute	Tafeln, Dokumente, Bauelemente (Bild 5 [3]; Bilder 11, 12, 13 [10])	Entdeckungen: Elektromagnetismus (*Oersted*), Eisenkern (*Wheatstone*). Erfindungen: Relais, Elektronenröhren, Transistoren, Mikroelektronik; systematische technische Entwicklung mit Qualitätssprüngen u. a.
Leistungselektrik 1866 bis heute	Tafeln, Dokumente, Bilder, Bauelemente, Geräte (Bild 6 [3]; Bilder 18, 19 [11]; Bilder 1 und 3 [12]; Bild 1 [13]; Tafel 1 und Bilder 3, 4, 5, 7)	Entdeckungen: Induktionsgesetz (*Faraday*), elektrodynamisches Generatorprinzip (*Siemens*); Entwicklung von Schaltanlagen; Vergleich alter Bauelemente bzw. Geräte mit heutigen Ausführungen; kontinuierliche, sprunghafte, konservative progressive, historische Entwicklungen u. a.
konstruktive Entwicklung 1889 bis heute	Dokumente, Geräte, Bilder, Bauelemente (Bild 7 [14]; Bild 1 [3]; Bilder 14, 15, 16, 17 [15]; Bilder 1 und 2 [11]; Bild 2)	Ursprüngliche Geräteformen, Chassisbauweise, Leiterplattentechnik, integrierte Schaltkreise. Gerätesysteme, ursamat, EGS; Generationsverläufe u. a.
MSR-Technik 1900 bis heute	Bilder, Geräte (Bild 6 [13]; Bild 20 [3], Bild 2 [4])	Historische Fakten einschlägiger Geräte- und Anlagenausführungen; konservative Erscheinungen; Leistungsfähigkeit der DDR-Industrie u. a.
Einige historische Dokumente	Schriftgut, Kopien, Bücher, Zeitschriften von 1795 bis 1958 ([8] und [9])	Einzelabhandlungen über konstruktive Lösungen bzw. Theorien (z. B. *Maxwell, Wischnegradski* zur Regelungstheorie). Historische Formen und Probleme früherer Veröffentlichungen. Information über technische Bildungsmöglichkeiten auf höheren Schulen nach 1900. Einblick in DDR-Messeexponate der 50er Jahre. Erste Zeitschrift msr. Ansätze zu gewissen Einschätzungen des Bildungsniveaus der Techniker und Ingenieure der vergangenen 200 Jahre.

unerklärbare Wunder darstellt, sondern nach klaren, systematischen Gesetzmäßigkeiten funktioniert; unzählbare Wünsche und Anliegen der Menschheit sind mit technischen Lösungen realisierbar.

Die tiefergehende Analyse gemäß Abschn. 3. läßt Aspekte in der historischen Entwicklung erkennen, die für heutige Optimallösungen Voraussetzung sind. So zeigen sich Bestrebungen zur Kompatibilität (z. B. die vielseitige Nutzung der Wheatstoneschen Brücke), zur Präzision (z. B. Ringrohr als „Drehmelder" hoher Genauigkeit durch Einsatz hochwertiger Werkstoffe), zu konstruktiven Qualitätssprüngen (z. B. U-Rohrmanometer → Ringwaage) und zur ganzheitlichen Erfassung eines Problems überhaupt (z. B. oben dargestellte Aufgaben zur selbsttätigen Kesselregelung). Derartige Aspekte tragen wesentlich zur Motivierung für technische Berufstätigkeit bei, wenn sie dem Betrachter genügend bewußt werden. „Fortgeschrittene" Fachleute können neben der intensiven Betrachtung der musealen Objekte durch Studien im Archivmaterial beliebig tief in den historischen Erfahrungsschatz eindringen. Wenig erfahrene Betrachter gewinnen ein Mehrfaches an Erkenntnissen, wenn sie Führungen durch Fachpersonal in Anspruch nehmen.

5. Bemerkungen zum Ausstellungsverlauf

An der Eröffnung der Ausstellung nahmen Funktionäre der SED und Vertreter des Rates der Stadt Leipzig, Vertreter Leipziger Museen, der Gesellschaft für Denkmalpflege im Kulturbund der DDR, der Volksbildung, der TH Leipzig u. a. teil. Mit zahlreichen Informationen in Presse und Rundfunk wurde die Ausstellung publiziert. Etwa 15000 Besucher wurden gezählt. Unter ihnen befanden sich Angehörige von Hoch-, Fach-, Berufsschulen, der Urania, des Kulturbundes, der Volksbildung, aus verschiedenen volkseigenen Betrieben der DDR u. a. Reger Gebrauch wurde von Führungen gemacht, wofür sich auch Delegationen von außerhalb des Bezirkes Leipzig angemeldet hatten.

Mit dem „historischen Praktikum" beschäftigten sich meist jüngere Besucher; überwiegend ältere Besucher — besonders einschlägige Fachleute — befaßten sich mehr mit dem „berichtenden Teil". Das Publikum war breit gefächert.

Somit fand das Anliegen der Bearbeiter erfolgreichen Anklang, größere Kreise der Bevölkerung an die Technikgeschichte heranzuführen, zu taktilem Umgang mit den Objekten zu veranlassen und anzuregen, sich Fakten der Technikgeschichte bewußt zu machen ([23] bis [25]) sowie Besucher mit Vorkenntnissen zu intensiverem Studium technikhistorischer Fakten zu bewegen. Resümierend ist einzuschätzen, daß mit der Ausstellung im Alten Rathaus eine zweite Entwicklungsetappe des Gesamtvorhabens gemäß [1] abgeschlossen werden konnte.

Literatur

[1] bis [15] der folgenden Literaturstellen sind Arbeitsergebnisse des FUA „Geschichte der Automatisierungstechnik" und der AG „Gerätesammlung".

[1] Erste Ausstellung zur historischen Gerätesammlung der Automatisierungs- und Elektrotechnik der Technischen Hochschule Leipzig. msr **20** (1977) H. 1, S. 46 und 47.

[2] Etappen zur MSR-Geräteentwicklung zwischen 1900 und 1965. msr **24** (1981) H. 9, S. 528–534.

[3] Historisches zur Automatisierungstechnik. Der Elektro-Praktiker **33** (1979) H. 10, S. 341 bis 344.

[4] Die Entwicklung von Meßinstrumenten. Der VEM-Elektro-Anlagenbau **14** (1978) H. 2, 4. US.

[5] Zwei konstruktive Beispiele der Fotometrie. Der VEM-Elektro-Anlagenbau **16** (1980) H. 2, 4. US.

[6] Zwei Operationseinheiten als Sachzeugen ihrer Epoche: Mechanik-Elektronik. Der VEM-Elektro-Anlagenbau **14** (1978) H. 4, 4. US.

[7] Brückenregler mit mechanischem Abgriff, Sofortregler mit induktivem Abgriff. Der VEM-Elektro-Anlagenbau **13** (1977) H. 4, 4. US.

[8] Historische Anfänge zur dynamischen Regelungstheorie — ein Beitrag von *Maxwell* 1868. msr **23** (1980) H. 7, S. 412 und 413.

[9] Erste konstruktive Bemessungskriterien für Regler — ein fundamentaler Beitrag *Wischnegradskis* 1877 zur Stabilitätstheorie. msr **24** (1981) H. 3, S. 171–173.

[10] Vom Relais zur Mikroelektronik. Der VEM-Elektro-Anlagenbau **14** (1978) H. 1, 4. US.

[11] Historische Etappen zur Spannungsmeßgerätetechnik. Der VEM-Elektro-Anlagenbau **15** (1979) H. 2, 4. US.

[12] Zur Entwicklung der Wartentechnik von 1870 bis heute. Der VEM-Elektro-Anlagenbau **15** (1979) H. 4, 4. US.

[13] Zur historischen Geräteausstellung der Technischen Hochschule. Elektrie **32** (1978) H. 1, S. 33–36.

[14] Vom elektromechanischen zum elektronischen Regler. Der VEM-Elektro-Anlagenbau **14** (1978) H. 3, 4. US.

[15] UEB-System (entwickelt um 1960) — Mikroelektronik (heute). Der VEM Elektro-Anlagenbau **15** (1979) H. 1, 4. US.

[16] *Moeller, M.:* Selbsttätige Kesselregelung auf elektrischem Wege. Siemens-Zschr. **9** (1929) H. 7, S. 408–415.

[17] Siemens-Brückenregler. Archiv für Technisches Messen, J 062-13, Jan. 1936.

[18] DRP 300197 vom 30. Mai 1916.

[19] *Lohmann, H.; Sieber, C.:* Die elektrische Ringrohrfernübertragung. Siemens-Zschr. **8** (1928) H. 12, S. 716–725.

[20] *Hengstenberg, J.; Sturm, B.; Winkler, O.:* Messen und Regeln in der Chemischen Technik. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1957.

[21] *Schmidt, E.:* Messung kleiner Druckunterschiede bei hohen absoluten Drücken. Zschr. des VDI **80** (1936) H. 21, S. 635 und 636.

[22] *Moeller, M.:* Elektrischer CO-Messer. Siemens-Zschr. **3** (1923) H. 5, S. 226–233.

[23] *Poppitz, S.:* Technische Veteranen zum Studium fürs Heute. Leipziger Volkszeitung vom 9./10. Mai 1981.

[24] *Burucker, G.:* Modernes von gestern im Alten Rathaus ausgestellt. Neues Deutschland vom 4. Juni 1981.

[25] *Koehn, L.:* Vom Fliehkraftregler zur Mikroelektronik. Einmalige Sammlung historischer Geräte und Dokumentationen zur Geschichte der Technik an der TH Leipzig erschlossen. Die Union vom 14. Januar 1982 und Der Neue Weg vom 14. Januar 1982.

msr 7651 Dr. paed. Dipl.-Ing. *H. Rohr*, TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen; FUA Geschichte der Automatisierungstechnik der WGMA. Fotos (1 bis 8): *V. Pullwitt*, TH Leipzig

msr 7651

Mikroprozessortechnik. Aufbau und Anwendung des Mikroprozessorsystems U 880. Von *H. Kieser* und *M. Meder*. Berlin: VEB Verlag Technik 1982. 356 Seiten, 157 Bilder, 64 Tafeln, 36,— Mark.
Bestell-Nr. 553094 5

Mit diesem neuen Buch über die Mikroprozessortechnik melden sich erstmals Vertreter der Bauelementeindustrie zum Thema „Mikroprozessortechnik U 880" zu Wort. Dadurch wird eine empfindliche Lücke in dem bisherigen Sortiment entsprechender Fachbücher geschlossen, da hier erstmals sehr detailliert die Arbeitsweisen des Mikroprozessorschaltkreises U 880 sowie der Schaltkreise U 885, 886 und 887 beschrieben werden. Die genaue Kenntnis des im Buch vermittelten Wissens ist für den, der sich mit der Hardwareentwicklung von Mikrorechnern befaßt, außerordentlich wichtig. Hervorzuheben ist die klare Gliederung des Buches, die für den mit der Digitaltechnik vertrauten Fachmann eine gute Verständlichkeit gewährleistet. Die Darstellung der Vorgänge wird durch eine Vielzahl von Graphen und Impulsdiagrammen unterstützt.
Nach einem kurzen Vergleich mit dem Mikroprozessor U 808 wird ausführlich das logische und zeitliche Verhalten des Mikroprozessors U 880 dargestellt. Dabei wird nicht nur auf die einzelnen Befehle eingegangen, sondern es wird auch in Tabellenform eine Analyse der Befehlsausführung durch den Prozessor anhand der M-Zyklen durchgeführt. Mit derselben Ausführlichkeit werden die oben erwähnten Peripherie-Schaltkreise PIO, SIO und CTC erläutert. In einem gesonderten Abschnitt wird das Interrupt-Verhalten des Schaltkreissystems erläutert. Besonders wertvoll erscheinen hier die zahlreichen Vorschläge, die den Aufbau größerer Mikrorechnersysteme ermöglichen. Eine kurze Beschreibung der Speicherbausteine und der üblicherweise verwendeten Schottky-TTL-Schaltkreise zur Pufferung und Adressenbildung rundet diesen Teil des Buches ab.
Im letzten Teil wird der Einsatz der Schaltkreise in Mikrorechnersystemen beschrieben, wobei der Schwerpunkt auf dem Erfurter Lernsystem liegt. Die real verfügbaren Mikrorechnersysteme, wie K 1520 und die darauf basierenden Mikrorechner vom VEB Numerik Karl-Marx-Stadt und vom Kombinat VEB EAW Berlin-Treptow, werden leider nicht oder nur unzureichend erwähnt. Trotzdem geben die beschriebenen Baugruppen dem Anwender einen Einblick in den Aufbau komplexer Mikrorechnersysteme.
Positiv zu bewerten ist das am Ende angehängte Fachwortverzeichnis, das viel zum Verständnis beitragen dürfte, vermißt wird jedoch ein Stichwortverzeichnis. Auf Fragen der Programmerstellung und auf Anwendungsbeispiele gehen die Autoren nicht ein.
Leider wird die sonst sehr klare Darstellung häufig durch nach der Auffassung des Rezensenten vermeidbare Fachtermini, wie „Mode" für Betriebsart und „floaten" für schwimmendes Potential gestört. Im ganzen kann jedoch gesagt werden, daß das Buch eine Lücke im vorhandenen Literaturangebot schließt, deren Beseitigung sehr dringend war.

B 1644 *L. Ulrich*

Von der einfachen Logikschaltung zum Mikrorechner. Von *J. Matschke*. Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 240 Seiten, 200 Bilder, 87 Tafeln, 20,— Mark.
Bestell-Nr. 552957 3

Das wachsende Vordringen der angewandten Mikroelektronik immer mehr auch in die volkswirtschaftlichen Bereiche, die primär nicht das Tätigkeitsfeld von Fachleuten der Informationstechnik darstellen, macht es erforderlich, einem weiten Personenkreis den Schritt vom Übersichtswissen zu tieferem Verständnis mikroelektronischer Strukturen zu ermöglichen. Diese Wissensvermittlung hat heute zwangsläufig den Gegenstand „Mikrorechner" zu umfassen, sollen die Erwartungen des Lesers erfüllt werden. Diesem Anliegen nach didaktisch sorgfältig gestalteter Einführungsliteratur widmet sich dieses Buch, und es vermag — das sei vorweggenommen —, diese bislang spürbare Lücke in unserem Literaturangebot in hoher Qualität zu schließen.
Der Autor setzt zum Studium des Buches kaum Kenntnisse voraus. Um den weiten Bogen von Informationsbegriff bis zur Programmierung und Interfacegestaltung schlagen zu können, erscheint es angemessen, auf Herleitungen, Beweise und Theorienbildung in diesem Rahmen zu verzichten. Das dem Buch zugrunde liegende Konzept orientiert stärker auf anwendungsorientiertes Wissen, was in der Regel an konkreten Problemstellungen und Beispielen erarbeitet wird.
Im ersten Kapitel wird der Leser mit Grundbegriffen der Informationsverarbeitung vertraut gemacht: Informationsdarstellung (Zahlen und Zeichen), -verarbeitung (Ablaufplan) und -austausch (seriell/parallel, Bus).
Die Grundbausteine einfacher Logiksysteme werden im zweiten Kapitel vorgestellt. Dazu behandelt der Autor kombinatorische Schaltungen mit der Schaltalgebra, um anschließend sehr zielgerichtet bereits rechnerspezifische Elemente zu erörtern (Torschaltungen, ROM, Multiplexer, 3-state-Gatter). Das Kapitel enthält weiterhin sequentielle Schaltungen, wie Trigger, Register, Zähler und RAM-Speicher. Als Beschreibungsform werden Zustandstabellen und ausführliche Logikdiagramme benutzt.
Das dritte Kapitel ist höher entwickelten Logiksystemen gewidmet und führt über die Verknüpfung der vorher besprochenen Elemente zu Mustergeneratoren und Steuerwerk rasch und folgerichtig auf freiprogrammierbare Rechnersteuerungen. An einem vereinfachten hypothetischen Mikroprozessormodell werden wesentliche Begriffe eingeführt und einfache Programmbeispiele erläutert. Durch die Vorstellung von E/A-Einheiten und des Interruptsystems können abschließend Anwendungen auf dem Gebiet der Prozeßsteuerungs- und Meßtechnik diskutiert werden.
Der Autor beweist viel Geschick und Sachkenntnis, ein umfangreiches Stoffgebiet mit komplexen Zusammenhängen anhand plastischer Beispiele praxisnah und mit technischem Anspruch straff zu behandeln. Dem guten Gesamteindruck entspricht der logisch-didaktische Aufbau und die lobenswerte typografische Gestaltung des Buches. Eine höhere Praxiswirksamkeit könnte durch den gelegentlichen Bezug auf reale technische Produkte der Halbleiterindustrie in Verbindung mit Wiederholungsfragen erreicht werden, um dem Lernenden Orientierungshilfen zu geben. Auch im Vergleich mit entsprechender internationaler Einführungsliteratur kann die Publikation als sehr sorgfältig und gelungen angesehen werden. Nicht allein der angesprochene breite Leserkreis wird das Buch zu Studienzwecken mit großem Gewinn nutzen können, auch der Fachmann wird viele methodische Anregungen für die Wissensvermittlung entnehmen können.

B 1609 *G. Schatter*

Prozeßanalyse. Elementare stochastische Methoden. Von *H. Dreyer* und *W. Sauer*. Berlin: VEB Verlag Technik 1982. 328 Seiten, 180 Bilder, 34 Tafeln, 22,— Mark.
Bestell-Nr. 553068 9

Die Autoren haben sich das Ziel gestellt, die in der mathematischen Fachliteratur angebotenen Modelle der Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematischen Statistik aus der Sicht des Hochschullehrers mit Blick auf den Studierenden, aber auch auf den in der Praxis tätigen Technologen, für die Belange der Prozeßanalyse auszuwählen, anzupassen und weiterzuentwickeln. Dieses Ziel wurde in vorbildlicher Weise erreicht.
Die Auswahl der mathematischen Modelle reicht von der einfachen Beschreibung zufälliger Prozesse bis hin zu den komplizierten Schätz- und Testverfahren der mathematischen Statistik. Bemerkenswert sind hierbei die eigenen Bei-

träge der Autoren zur Erschließung bekannter Modelle für praktische Probleme. So wird beispielsweise die p-Karte einer progressiven Betrachtung unterzogen und auf neue Anwendungsmöglichkeiten aufmerksam gemacht. Herauszuheben ist ferner die didaktisch gelungene Bearbeitung statistischer Tests zur Prüfung technologischer Hypothesen in Gestalt eines Ablaufschemas. Schließlich sei auf die ebenfalls praxisorientierte Darstellung des Verhältnisses von Fehlern 1. zu Fehlern 2. Art bei Entscheidungsprozessen hingewiesen.
Alle Kapitel des Buches erhalten ihren besonderen Wert durch die Auswahl geeigneter praktischer Beispiele und Übungsaufgaben einschließlich der Lösungen. Diese Beispiele sind hinsichtlich des Umfangs, der Problemauswahl sowie der Praxisrelevanz bemerkenswert gut getroffen. Sie zeigen in überzeugender Weise, wie vielgestaltig die Prozeßanalyse mit wissenschaftlichen Methoden betrieben werden kann und welche Maßnahmen aus den Analyseergebnissen für eine Prozeßoptimierung abgeleitet werden können.
So kann erwartet werden, daß dieses Lehrbuch nicht nur dem Studierenden von Nutzen ist, sondern daß es auch in der Praxis einen breiten Leserkreis findet.

B 1619 *H.-J. Krocker*

Aktive RC-Schaltungen in der Elektronik. Von *G. Fritzsche* und *V. Seidel*. Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 180 Seiten, 43 Bilder, 50 Tafeln, 12,— Mark.
Bestell-Nr. 5529485

Speziell in der Nachrichtentechnik herrschen analoge Primärsignale vor. Für die Verarbeitung ist die Wahl zwischen analogen und digitalen Verfahren zu treffen, wobei die Relationen zwischen beiden Techniken hinsichtlich Aufwand und Effekt zu optimieren sind. Analoge Methoden bieten heute noch eine Reihe von Vorteilen, wenn die Realisierung in moderner Technik erfolgt. Ziel des Werks ist die Vermittlung von praxisnahen Entwurfsgrundlagen zur Realisierung einer Übertragungsvorschrift in analoger aktiver Technik, d. h. die Darstellung von Analysemethoden, Stabilitätsproblemen und Entwurfsvorschriften für integrationsfähige aktive RC-Schaltungen zur analogen Signalverarbeitung. Es wendet sich vorzugsweise an Bearbeiter von Entwurfsaufgaben, die mit den Grundlagen genügend vertraut sind. Für den Lernenden ist die entsprechende Grundlagenliteratur angegeben. Behandelt werden die zum Entwurf aktiver spulenloser Analogvierpole notwendigen Schritte Approximation, rechnerische Realisierung, rechnerische Optimierung und Kontrollanalyse. Das Buch soll Grundlage für eine zielstrebige, ingenieurmäßige Bearbeitung von Problemen sein. Eine entsprechend intensive Verbindung von Theorie und Praxis bei der Darstellung von Prinzipien und Zusammenhängen wird angestrebt.
Einer Einführung in die Problematik folgt eine Zusammenfassung notwendiger Grundlagen. Neben aktiven Elementen als zur Realisierung definierter Übertragungsfunktionen geeigneten Prinzipien werden Analysemethoden, Stabilitätsprobleme, Approximationen usw. dargestellt. Der Hauptteil der Ausführungen ist den Realisierungen gewidmet. Ein abschließendes Kapitel gibt eine Zusammenfassung und stellt neue Tendenzen fest. Es ist den Autoren gelungen, durch präzise Darstellung dem umfangreichen Thema auf dem relativ begrenzten Raum gerecht zu werden. Bei Bedarf dürfte es keine Schwierigkeiten bereiten, aus dem sorgfältig zusammengestellten umfangreichen Literaturverzeichnis entsprechende Grundlagen- bzw. Ergänzungsliteratur auszuwählen.

B 1627 *K. Fiedler*

Einführung in die Technologie der Elektrotechnik-Elektronik. Von *H. Eigler* und *W. Beyer*. Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 380 Seiten, 195 Bilder, 47 Tafeln, 26,— Mark.
Bestell-Nr. 5528386

Die ständig wachsende Bedeutung der Technologie als Schlüssel zur Entwicklung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts sowohl in der Bauelementeindustrie, im Geräte- und Anlagenbau als auch bei der prozeßspezifischen Applikation, insbesondere der Mikroelektronik in „Erstanwenderbereichen", macht eine systematisierte Darstellung der vielschichtigen technologischen Verfahren sowie der Grundzüge der technologischen Prozeßgestaltung notwendig. Verlag und Autoren schließen mit der Herausgabe dieses Titels eine Lücke im Fachbuchangebot. Das Buch wendet sich an Studierende der Fachrichtung Elektrotechnik/Elektronik und an den in der Praxis tätigen Ingenieur. Die Breite des angesprochenen Personenkreises und der Umfang des Buches in Relation zur Stoffülle zwingen konzeptionell zur Vermittlung von Grundlagenwissen in einer Form, daß der Leser die Voraussetzungen erhält, sich anhand des umfangreichen Literaturbezugs selbst Spezialwissen zu erarbeiten.
Im ersten Teil des Buches werden die technologischen Verfahren dargestellt, systematisiert in

- Verfahren auf physikalischer Grundlage (Reinigungs- und Bearbeitungsprozesse im Vakuum; Prozesse beim Verbinden von Werkstoffen)
- Verfahren auf chemischer, elektrochemischer und elektrophysikalischer Grundlage (z. B. Abscheiden aus der Gasphase, katodische und stromlose Abscheidung, Ätzen von Metallen und Halbleitern)
- Verfahren auf physikalisch-mechanischer Grundlage (Verformen, Umformen, Verbindungs- und Anschlußverfahren usw.).

Mit Gliederung und Darstellung wird das Ziel erreicht, die vielschichtigen technologischen Verfahren in einem größeren Zusammenhang zu sehen, was besonders für Studierende von großer Bedeutung ist. Die Funktion und die wesentlichsten Probleme der einzelnen Verfahren werden verständlich und insgesamt gut aufgezeigt. Physikalisch-technische sowie chemische und mathematische Grundkenntnisse werden vorausgesetzt.
Der zweite Teil des Buches vermittelt Grundwissen zur technologischen Prozeßgestaltung. Ausgehend vom Produktionsprozeß und seinen Strukturen wird sowohl auf die Produktionsorganisation als auch auf den Entwurf und die Modellierung technologischer Prozesse eingegangen. Kleinere Beispiele illustrieren die Applikation der vorgestellten Methoden.
Insgesamt stellt das Buch eine begrüßenswerte Bereicherung im Fachbuchangebot dar, das seine Funktion im Prozeß der Beschleunigung des technologischen Fortschritts erfüllen wird.

B 1630 *B. Schmidt*

Automatisierte Elektroantriebe. Von *R. Schönfeld* und *E. Habiger*. Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 531 Seiten, 445 Bilder, 60 Tafeln, 40,— Mark.
Bestell-Nr. 5528319

Hochproduktive Technologien erfordern in steigendem Maße geregelte elektrische Antriebe. Der automatischen Steuerung der Antriebe kommt dabei besondere Bedeutung zu. Das Buch vermittelt in neun Kapitel einen Überblick über die Gesamtproblematik. Es wendet sich an Entwickler und Projektanten von Antriebssystemen und Studenten der Elektrotechnik. Nach einer Einführung wird eine Entwurfssystematik für automatisierte Antriebssysteme entwickelt, deren Schritte in knapper Form dargestellt werden. Das folgende Kapitel behandelt Einrichtungen zur Eingabe, Gewinnung, Verarbeitung und Ausgabe von Information. Das Spektrum reicht dabei vom Rastschalter über antriebstechnische Meßverfahren, Operationsverstärkerschaltungen, logische Verknüpfungen bis zum Mikroprozessor. Zwei weitere Kapitel widmen sich der Beschreibung des Zusammenwirkens von Motoren und Stellgliedern sowie der Dynamik der Antriebselemente. Der Verfasser gibt dabei zahlreiche Dimensionierungsrichtlinien. Gleichstromantriebe mit netzgeführten Stromrichtern und Pulsstellern, Drehstromantriebe in Kaskadenschaltung, spannungsgesteuerte Asynchronmotore und frequenz-/spannungsgesteuerte Synchron- und Asynchronantriebe werden in ihrer Wirkungsweise beschrieben. Die Stellglieder sind überwiegend mit Thyristoren, teilweise mit Transistoren realisiert. Das Übertragungsverhalten des mechanischen Systems und die linearisierten Signalflußbilder der Antriebe bei

verschiedenen Steuerungsarten werden abgeleitet. Das Verhalten der Stellglieder ist in die Betrachtung einbezogen. Das folgende Kapitel behandelt die Grundstrukturen von drehzahl- und lagegeregelten Gleichstrom- und drehzahlgeregelten Drehstromantrieben. Mit Einschränkung dominiert dabei die Kaskadenregelung (unterlagerte Stromregelung). Den Gütekenngrößen für Regelkreise schließen sich die bekannten Dimensionierungsrichtlinien (Betragsoptimum u. ä.) an. Zahlreiche Probleme, wie Nichtlinearitäten, zeitoptimale, adaptive, frequenz-phasenanaloge und diskontinuierliche Regelungen, werden angeschnitten. Einige technologisch verkettete Antriebe werden kurz erläutert. Mit den Simulationsmöglichkeiten von Antrieben auf Analog- und Digitalrechnern wird der Überblick über die Antriebsebene abgeschlossen. Als weiterer Schwerpunkt folgt ein Kapitel über Antriebssteuerungen. Neben Projektierungsgrundsätzen werden an praktischen Beispielen Programmablaufgraphen, -pläne und Funktionspläne beschrieben. An praktischen Beispielen werden ebenfalls Entwurf und Realisierungsmöglichkeiten von verbindungs- und speicherprogrammierten Steuerungen sowie Prozeßrechnersteuerungen dargestellt. Den Abschluß des Buches bildet ein Abschnitt über Störsicherheit und Zuverlässigkeit von Antriebssystemen.

Die Inhaltsübersicht deutet die Fülle des gebotenen Stoffes an. Es wird ein recht umfassender Überblick über das Gebiet der Antriebsregelung und ' -steuerung gegeben, der zur gründlichen Einarbeitung gut geeignet ist. Der große Stoffumfang bewirkt natürlich, daß zahlreiche Probleme nur angedeutet werden können. Das umfangreiche Literaturverzeichnis ist deshalb sehr nützlich. Andererseits muß aber festgestellt werden, daß einige Abschnitte sehr allgemein gehalten und inhaltliche Überschneidungen vorhanden sind. Die Darstellung von Rastschaltern u. ä. dürfte sich beim angesprochenen Leserkreis erübrigen. Ein TGL-Verzeichnis am Ende des Buches würde hier ausreichen. Digitale Grundschaltungen sollte man wohl den einschlägigen Standardwerken überlassen.

Wünschenswert wäre dagegen eine umfassendere Darstellung der Stellglieder mit Thyristoren und Transistoren, deren Einsatz sich aufgrund kurzer Schaltzeiten bei relativ hohen Leistungen für hochdynamische Antriebe stark erweitern dürfte. Dem verstärkten antriebsnahen Einsatz von Mikroprozessoren sollte in praxisorientierter Weise Rechnung getragen werden. Neuere Entwicklungen, wie Zustandsrückführung usw., wären zu berücksichtigen. Es ist zu wünschen, daß der VEB Verlag Technik die Entwicklung auf dem Antriebssektor neben der vorliegenden Gesamtdarstellung z. B. durch eine Monografienreihe mit vorantreibt.

B 1635 *J. Wede*

Time Series. Data Analysis and Theory (in Russ.). Von *D. R. Brillinger*. Moskau: Mir 1980. 536 Seiten, 9 Tafeln, 68 Bilder.

Die Monografie ist der Behandlung von Zeitreihen gewidmet, die in den unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen Untersuchungsgegenstand sind. Sie beruht auf einer langjährigen Lehrtätigkeit an verschiedenen Hochschulen. Im 1. Band sind dabei Aspekte der linearen Analyse stationärer vektorieller Zeitreihen betrachtet. Er ist sowohl als Nachschlagwerk wie auch als Lehrbuch geeignet, wobei die behandelten Methoden durch ausführlich aufbereitete Beispiele, die auf der EDVA berechnet wurden, illustriert werden. Jedes Kapitel endet mit einer großen Anzahl von Übungen, die der Vertiefung der Kenntnisse dienen. Sowohl die Darlegungen als auch die Übungsaufgaben stellen an den Leser hohe Anforderungen.
Nach einer Einführung in die Zeitreihenanalyse behandelt der Autor die wesentlichen Grundbegriffe, mathematische und statistische Grundlagen der Zeitreihenanalyse (stochastische Prozesse, Stationarität, Spektraldichte, Filter u. a.). Hauptsächlich findet bei der Zeitreihenanalyse die harmonische Analyse Anwendung. Dementsprechend ist den analytischen Eigenschaften der Fourier-Analyse, den stochastischen Eigenschaften der endlichen Fourier-Transformation sowie der Schätzung der Leistungsspektren große Aufmerksamkeit gewidmet. Aufgrund der mathematischen, rechentechnischen und empirischen Eigenschaften wird die diskrete Fourier-Transformation bevorzugt.

B 1559 *J.-A. Müller*

Empfindlichkeit von Steuerungssystemen. Von *E. N. Rozenvasser* und *R. M. Jusupov* Moskau: Nauka 1981. 464 Seiten, 2 Tafeln, 36 Bilder.

Mit dem zunehmenden Einsatz mathematischer Modelle in verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen gewinnen Empfindlichkeitsanalysen an den entwickelten Modellen an Bedeutung. Sie geben uns an, welchen Einfluß die Parameter und Teilmodelle auf die Ergebnisse der Modellexperimente haben. Aus den Untersuchungen lassen sich Schlußfolgerungen über die notwendige Güte der Parameterschätzungen ziehen. Neben dieser Analyseaufgabe erhält die Synthese von Steuerungssystemen, die bezüglich bestimmter Größen wenig empfindlich sind, zunehmend Bedeutung. Die Gesamtheit der Prinzipien und Methoden, die mit der Empfindlichkeitsuntersuchung verbunden sind, bilden die Empfindlichkeitstheorie. Nach ihrer wissenschaftlichen Begründung Mitte der sechziger Jahre hat diese Theorie eine beachtliche Entwicklung durchlaufen, das kommt u. a. in der ansteigenden Anzahl an Publikationen zum Ausdruck.
Nach Einschätzung der Autoren dieser Arbeit fehlt jedoch vielen Untersuchungsverfahren ungeachtet ihrer erfolgreichen praktischen Anwendung bislang die allgemeine theoretische Begründung. Daraus leiten die Autoren das Ziel ab, mit der erforderlichen wissenschaftlichen Gründlichkeit die Grundlagen einer Empfindlichkeitstheorie als ein selbständiges Gebiet der Technischen Kybernetik darzustellen. Sie orientieren sich dabei an Wissenschaftlern und Ingenieuren, die sich für die theoretische Untersuchung, Projektierung, Erprobung, Konstruktion und den Betrieb verschiedener Steuerungssysteme spezialisieren.
Von einer einheitlichen Grundlage ausgehend wird die Empfindlichkeit verschiedener Steuerungssysteme im Zeit- und Frequenzbereich untersucht. Die Beziehung zur klassischen Stabilitätstheorie (2. Ljapunovsche Methode) wird hergestellt und die Grenzen, die aus der Beschränkung auf die erste Näherung folgen, aufgezeigt. Hervorzuheben ist darüber hinaus die Einbeziehung der Empfindlichkeit von Lösungen der mathematischen Optimierung (lineare und nichtlineare Optimierung, Variationsrechnung u. a.) in die allgemeine Darlegung.

B 1558 *K.-H. Winter*

Mathematische Grundlagen der Systemanalyse. Band 1: Elementare Verfahren zur Analyse linearer Systeme der Kybernetik. Von *K. Göldner*. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1981. 303 Seiten, 200 Bilder, 115 Aufgaben mit Lösungen, 13,80 Mark.

Unter dem Titel „Mathematische Grundlagen der Systemanalyse" stellt sich der Autor das Ziel, mathematische Verfahren, die in der Kybernetik bei der Beschreibung von Systemen eine wesentliche Rolle spielen, einem breiten Leserkreis zugänglich zu machen. Grundlage ist hierbei sein 1968 erschienenes Buch „Mathematische Grundlagen für Regelungstechniker", das neu bearbeitet und durch moderne Verfahren wesentlich ergänzt wurde. Von den zwei geplanten Bänden liegt der erste nunmehr vor.
Einführend werden in diesem sehr anschaulich die Notwendigkeit einer exakten mathematischen Beschreibung herausgearbeitet und grundlegende Begriffe der Kybernetik eingeführt. Die Kapitel 2 und 3 befassen sich mit der Beschreibung analoger, kontinuierlicher, linearer, zeitinvarianter Glieder, die im Zeit-, Bild- und Frequenzbereich vorgenommen wird. Behandelt werden Verfahren der Linearisierung für ein und mehrere Eingangssignale, Übergangs- und Gewichtsfunktionen sowie das Faltungsintegral. Mit

Hilfe der Laplace-Transformation werden die Übertragungsfunktion und ihre grafische Darstellung als PN-Bild sowie der Frequenzgang als Grenzfall der Übertragungsfunktion mit Ortskurven- und Frequenzkennliniendarstellung eingeführt.
Aufbauend auf den in den Kapiteln 2 und 3 gewonnenen Methoden werden im Kapitel 4 Zusammenschaltungen von Übertragungsgliedern, wie Reihen- Parallel- und Rückführschaltungen mit und ohne Rückwirkungen, betrachtet.
Kapitel 5 befaßt sich mit der Analyse analoger kontinuierlicher Signale. Für determinierte Signale werden Fourier-Reihe und Fourier-Integral benutzt. Zur Beschreibung stochastischer Signale werden Verteilungsfunktionen, Mittelwerte, Streuungen sowie Korrelationen und Spektraldichten eingeführt.
Die Darstellung des Gesamtkomplexes ist methodisch gut gelungen. Der erforderliche umfangreiche und aufgrund seiner Vielfalt schwer zu durchschauende Begriffsapparat wird pädagogisch sehr geschickt aufgebaut, wobei die eingestreuten und ausführlich durchgerechneten Beispiele die theoretischen Betrachtungen effektiv unterstützen. Mit Hilfe weiterer Beisiele am Ende eines jeden Kapitels wird dem Leser die Möglichkeit geboten, seine Kenntnisse aktiv zu überprüfen und die Ergebnisse anhand der Kurzfassungen der Lösungen zu vergleichen.
Insgesamt wurde Wert auf gute Verständlichkeit und Aufzeigen von Zusammenhängen gelegt, so daß das Buch seinen Leserkreis unter Technikern, Naturwissenschaftlern und Studenten finden wird, die sich mit Problemen der Kybernetik befassen.

B 1589 *J. Sponer*

Higher Order Necessary Conditions in Optimal Control Theory. Von *H. W. Knobloch.* Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1981. 173 Seiten.

Als notwendige Bedingung für die optimale Steuerung eines dynamischen Prozesses hat das Maximumprinzip von *Pontrjagin* vielfältige Anwendung gefunden. Es wird aus der Forderung abgeleitet, daß die erste Variation des Gütefunktionals nicht-negativ ist, und ist somit eine Bedingung erster Ordnung. Seine Grenzen zeigen sich darin, daß „singuläre" optimale Trajektorienabschnitte vorkommen können, deren Steuerung nicht aus dem Maximumprinzip abgeleitet werden kann, und daß ferner nicht immer zwischen Minimum und Maximum des Gütefunktionals unterschieden werden kann. In diesen Fällen kann die Menge solcher Steuerungen, die als optimal in Frage kommen, durch Anwendung notwendiger Bedingungen höherer Ordnung eingeschränkt werden.
Die Monografie unternimmt es, die bisherigen Entwicklungen auf diesem Gebiet (*Krener, Jacobson* u. a.) zu einer vollständigen Theorie der notwendigen Bedingungen höherer Ordnung zusammenzufassen und zu erweitern. Unter Benutzung spezieller Steuerungsvariationen wird eine allgemeine Bedingung formuliert, die u. a. das Maximumprinzip von *Pontrjagin* und das sog. Maximumprinzip höherer Ordnung von *Krener* als Spezialfälle umfaßt. Die Aussagen beziehen sich ausschließlich auf Steuerungen, deren Werte im Innern des zulässigen Bereichs liegen.
Der Autor bietet seine Ergebnisse in einer Form dar, die vom Leser ein hohes Maß an Fähigkeit und Bereitschaft zu mathematischer Abstraktion verlangt. Etwa 100 Sätze, Hilfssätze und Folgerungen werden mit ihren Beweisen aneinandergereiht; methodische Erklärungen sind spärlich. Beispiele zur Erläuterung der angegebenen notwendigen Optimalitätsbedingungen und zu ihrer Anwendung fehlen völlig. Damit wird nur ein enger Kreis spezialisierter Mathematiker angesprochen, während der anwendungsinteressierte Ingenieur resigniert.

B 1568 *H. L. Burmeister*

Grundlagen der Regelungstechnik. Von *E. Pestel* und *E. Kollmann.* Braunschweig/Wiesbaden: Verlag Friedr. Vieweg & Sohn. 348 Seiten, 338 Bilder, 21 Tafeln, 156 Übungsaufgaben.

Das populäre Buch präsentiert sich in seiner dritten, vollständig überarbeiteten Auflage. Es gestattet in hervorragender Weise den Einstieg in das Verständnis linearer Regelungen und hebt sich dabei in verschiedener Hinsicht deutlich von Büchern mit ähnlichem Anliegen (und ähnlichem Titel) ab. Von konkreten Beispielen technisch relevanter Regelungen ausgehend, werden nach der Formulierung von Zielstellung, Grundbegriffen und Grundzusammenhängen für die Beschreibung von Übertragungsgliedern und Regelkreisen vier gleichermaßen bedeutungsvolle Beschreibungsmethoden parallel dargestellt: 1. *die Übertragungsfunktion* im Zusammenhang mit der Laplace-Transformation und den speziellen Antwortfunktionen (Impuls-, Sprung- und Anstiegsantwort);
2. *das Wurzelortverfahren* mit ausführlichen Konstruktionsregeln, einem sehr nützlichen Katalog von Wurzelortskurven in Abhängigkeit von der Anzahl der Pole und Nullstellen und mit der Ausdehnung des Verfahrens auf vermaschte Regelkreisstrukturen;
3. *der Frequenzgang* mit seinen grafischen Darstellungen Ortskurve und Bode-Diagramm, der Formulierung des Nyquist-Kriteriums zur Stabilitätsuntersuchung, dem Nichols-Diagramm für geschlossene Regelkreise sowie den Zusammenhängen zwischen Frequenz- und Zeitverhalten; 4. (erfreulicherweise und der modernen Entwicklung folgend) *die Zustandsdarstellung* im Hinblick auf ihre Zweckmäßigkeit bei der rechentechnischen Verarbeitung und der Erfassung des inneren Systemverhaltens, Zusammenhang zur Differentialgleichung und zur Übertragungsfunktion, Lösung der Zustandsgleichungen und Erläuterung von Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit. Folgerichtig stützen sich auch Optimierung und Regelkreissynthese auf die erwähnten Beschreibungsmethoden. Es werden also zum einen Optimierungskriterien (Integralkriterien usw.) genauso wie einfache Bemessungsvorschriften zum Reglerentwurf (z. B. *Chien, Hrones* und *Reswick*; *Ziegler* und *Nichols*; Betragsoptimum) oder Korrekturnetzwerke und Optimierung im Bode-Diagramm angesprochen wie zum anderen die Regelkreissynthese im Zustandsraum (Polvorgabe, Luenberger-Beobachter, Deadbeat-Regler). Das Buch wird durch einen kurzen Abschnitt zur Anwendung und zur Bedeutung des Analogrechners für die Simulation von Regelkreisen (Anschaulichkeit, Einbeziehung von Nichtlinearitäten, Sichtbarmachung des Einflusses von Parameteränderungen ohne aufwendiges Durchrechnen usw.) abgeschlossen. Hier freilich wäre ein Hinweis auf die Möglichkeiten und den ständig wachsenden Einfluß des Digitalrechners (digitale Simulation kontinuierlicher Vorgänge) nützlich. Ausdrücklich hingewiesen sei auf die zahlreichen und didaktisch äußerst geschickt ausgewählten Übungsbeispiele, die die Stoffvermittlung unterstützen. Wünschenswert wäre für den Lernenden allerdings sicherlich eine etwas ausführlichere Angabe der Lösungen zu **allen** Übungsbeispielen. Letztlich erscheint auch die Frage gerechtfertigt, weshalb sich ein Buch dieses Titels nahezu ausschließlich auf die Behandlung des linearen Regelkreises mit einer Regelgröße beschränkt. Wenn schon Mehrgrößenregelungen, nichtlineare, digitale, stochastische und adaptive Regelungen usw. so gut wie unerwähnt bleiben — sollten unter Grundlagen der Regelungstechnik nicht wenigstens auch die praktisch so verbreiteten Regelungen mit Zwei- und Mehrpunktreglern mit und ohne Rückführungen verstanden werden? Ungeachtet dessen, das, was das Buch beschreibt, ist inhaltlich wie sprachlich außerordentlich verständlich und sinnvoll dargestellt und gut mit Bildern und praktischen Beispielen unterstützt. Es ermöglicht ein für ein Fachbuch flüssiges Lesen und ist daher als Hilfsmittel für den Lernenden wie auch den regelungspraktisch Tätigen zu empfehlen.

B 1572 *D. Werner*

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Büche können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] *Golovkin, B. A.:* Operacionnye zadači programmirovanija dlja mnogoprocessornych sistem (Operationsaufgaben der Programmierung für Mehrprozessorsysteme). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (150).

[2] *Obrazcova, R. I.:* Vzaimodejstvie čeloveka i EVM v ASU (Mensch-Maschine-Kommunikaton in ASU). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (152).

[3] *Rebrova, M. P.:* Avtomatičeskoe klassificirovanie v sistemach obrabotki informacii (Automatische Klassifizierung in Informationsverarbeitungssystemen). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (153).

[4] Teorija special'nogo matematičeskogo obespečenija upravlenij (Theorie der speziellen Software zur Steuerung). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1983· NK-No. 6–82 (155).

[5] *Chemming, R.:* Teorija kodirovanija i informacii (Theorie der Kodierung und Information. Übers. aus dem Engl.). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (157).

[6] *Bejcer, B.:* Mikroanaliz charakteristiki vyčislitel'nych sistem (Mikroanalyse der Charakteristik von Rechnersystemen. Übers. aus dem Engl.). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (159).

[7] *Kabeš, K.:* Gibridnye vyčislitel'nye sistemy (Hybride Rechnersysteme. Übers. aus dem Tschech.). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (162).

[8] *Wilson, I. R.; Eddimon, A. M.:* Praktičeskoe vvedenie v PASCAL (Praktische Einführung in PASCAL. Übers. aus dem Engl.). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (163).

[9] *Gorelik, A. L.*, u. a.: Sovremennoe sostojanie problemy raspoznavanija (Moderner Stand der Probleme der Mustererkennung). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (167).

[10] *Eršova, E. B.*, u. a.: Cifrovye sistemy raspredelenija informacii (Digitale Systeme zur Informationsverteilung). Radio i svjaz'. 4. Quart .1983. NK-No. 6–82 (179).

[11] *Kučerov, V. Ja.:* Sintezirovannaja reč' v sistemach massovogo obsluživanija (Synthese der Sprache in Bedienungssystemen). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (181).

[12] *Nejman, V. I.:* Struktury sistem raspredelenija informacii (Struktur von Informationsverteilungssystemen). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (182).

[13] *Suzdalev, A. V.:* Seti peredači informacii ASU (Informationsübertragungsnetze in ASU). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (186).

[14] Mikroelektronika i poluprovodnikovye pribory. Vyp. 8 (Mikroelektronik und Halbleitergeräte. Ausg. 8). Radio i svajz'. 4. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (198).

[15] *Pavlov, G. P.; Gnutov, V. I.:* Avtomatizirovannye sistemy upravlenija svjazi (Automatisierte Systeme der Nachrichtensteuerung). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1983. NK-No. 6–82 (298).

[16] *Sikarev, A. A.; Lebedev, O. N.:* Mikroelektronnye ustrojstva formirovanija i obrabotki složnych signalov (Mikroelektronische Anlagen der Bildung und Verarbeitung komplizierter Signale). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (69).

[17] *Cherpi, M.:* Analogovye integral'nye schemy (Analoge integrierte Schaltungen. Übers. aus dem Ung.). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (71).

[18] *Ch'julsman, L.; Allen, P.:* Vvedenie v teoriju i rasčet aktivnych fil'trov (Einführung in die Theorie und Berechnung aktiver Filter. Übers. aus dem Engl.). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (72).

[19] *Donen, A. M.*, u. a.: Mašinnyj analiz i optimizacija konstrukcii i technologii radioelektronnoj apparaturoj (Maschinelle Analyse und Optimierung der Konstruktion und Technologie funktechnischer Apparaturen). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (76).

[20] *Seljutin, V. A.:* Avtomatizirovannoe konstruirovanie topologii integral'nych mikroschem (Automatisierte Konstruktion der Topologie integrierter Mikroschaltungen). Radio i svjaz'. 2. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (78).

[21] *Aleksenko, A. G.*, u. a.: Osnovy proektirovanija radioelektronnoj apparaturoj na mikroprocessorach (Grundlagen der Projektierung funkttechnischer Anlagen auf der Grundlage von Mikroprozessoren). Radio i svjaz'. 4 Quart. 1983. NK-No. 7–82 (79).

[22] *Lazer, I. M.; Subarev, V. A.:* Ustojčivost' cifrovych mikroelektronnych ustrojstv (Stabilität digitaler mikroelektronischer Anlagen). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (86).

[23] Makromodelirovanie analogovych IS (Makromodellierung analoger integrierter Schaltungen). Radio i svajz'. 2. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (87).

[24] *Barabaš, Ju. L.:* Kollektivnye statističeskie rešenija pri raspoznavanii (Kollektive statistische Entscheidungen bei der Mustererkennung). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (91).

[25] *Mudrov, V. I.; Kuško, V. L.:* Metody obrabotki izmerenij (Methoden zur Verarbeitung von Messungen). Radio i svjaz'. 1. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (92).

[26] *Paskalev, Ž.:* Elektronnye igry (Elektronische Spiele). Radio i svjaz'. 3. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (93).

[27] *Lazarev, V. G.; Lazarev, Ju. V.:* Dinamičeskoe upravlenie potokami informacii v setjach svjazi (Dynamische Steuerung von Informationsströmen in Nachrichtennetzen). Radio i svjaz'. 4. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (97).

[28] Elektronnaja technika i avtomatika. Vyp, 14 (Elektronische Technik und Automatik. Ausg. 14). Radio i svjaz. 2. Quart. 1983. NK-No. 7–82 (104).

[29] Optimal'noe planirovanie promyšlennogo proizvodstva (Optimale Planung der Industrieproduktion). Izd-vo Ural'sk. nauč. centra ANSSR. 2. Quart. 1982. NK-No. 8–82 (10).

[30] Matematičeskoe modelirovanie processov v medicinskich i biologičeskich sistemach (Mathematische Modellierung von Prozessen in medizinischen und biologischen Systemen). Izd. Ural'skogo centra ANSSR. 3. Quart. 1982. NK-No. 8–82 (16).

[31] Ocenivanie v uslovijach neopredelennosti (Schätzung unter Bedingungen der Unbestimmtheit). Izd. Ural'skogo nauč. centra ANSSR 2. Quart. 1982. NK-No. 8–82 (18).

[32] Upravlenie i ocenivanie v dinamičeskich sistemach (Steuerung und Schätzung in dynamischen Systemen). Izd. Ural'skogo nauč. centra ANSSR. 1. Quart. 1982. NK-No. 8–82 (19).

[33] Promyšlennye roboty i manipuljatory (Industrieroboter und Manipulatoren). Izd. VINITI. 1.–4. Quart. 1982. NK-No. 8–82 (41).

msr 7660

V. Wissenschaftlich-technische Konferenz des Institutes für Regelungstechnik

Das Institut für Regelungstechnik, Forschungszentrum des Kombinates VEB EAW Berlin-Treptow „Friedrich Ebert" und die Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik in der Kammer der Technik (WGMA) führen am 8. November 1982 in der Kongreßhalle Berlin ihre V. WTK über Relais- und Schutztechnik durch.
Die Veranstaltung wird DDR-offen mit ausländischer Beteiligung durchgeführt und hat folgende Zielstellungen:

- Aspekte der Einführung von mikroelektronischen Bauelementen in die Relais- und Schutztechnik
- Tendenzen bezüglich des Einsatzes von Mikrorechnern innerhalb von Geräten der Steuerungstechnik und Schutztechnik
- Erfahrungen bei der Ermittlung und Anwendung von Zuverlässigkeitskennwerten
- Konstruktiv-technologische Lösungen zur Gewährleistung einer hohen Effektivität der Fertigung von Geräten und Einrichtungen der Relais- und Schutztechnik.

3. Kolloquim „Meßtechnik für thermische Energieanlagen"

Die Arbeitsgruppe Meßtechnik (Maschinenlaboratorium) der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden veranstaltet am 13. und 14. April 1983 das o. g. Kolloquium mit internationaler Beteiligung.
Das Kolloquium beschäftigt sich mit der meßtechnischen Erfassung und Verarbeitung von Größen, wie Temperatur, Wärme, Druck und Kraft, Durchfluß, Bewegungsgrößen, Schall, Konzentration, in Verbindung mit Meßobjekten thermischer Energieanlagen, wie Turbo- und Kolbenmaschinen, Feuerungen, Reaktoren, Wärmeübertragern und Rohrleitungen.
Vorträge und Rundtischgespräche zu folgenden Hauptthemen werden gehalten bzw. durchgeführt:

- Meßtheorie und Meßverfahren
- Algorithmen und Gerätetechnik der Meßwertverarbeitung (Datenreduktion, Mikroprozessoren, Automatisierungsanlagen)
- Meßtechnische Ausbildung.

Teilnahmemeldungen und Anfragen sind zu richten an:
TU Dresden, Sektion Energieumwandlung, (Kennwort: Meßtechnik 1983), 8027 Dresden, Mommsenstr. 13, Telefon 463 5120, 463 4819.

16. Fachkolloquim Informationstechnik

Die Sektion Informationstechnik der TU Dresden veranstaltet vom 26. bis 28. Januar 1983 das o. g. Fachkolloquium zum Hauptthema „Akustik und Meßtechnik".
In folgenden Themengruppen werden Vorträge gehalten:

A: Raum- und Bauakustik
B: Elektromechanische Meßtechnik
C: Elektronische Meßtechnik
D: Spracherkennung und Objekterkennung, Sprachsynthese, Psychoakustik.

Die Teilnahmegebühr beträgt 100,— M. Anfragen sind zu richten an:

TU Dresden, Sektion 9 (Informationstechnik), Bereich 4 (Akustik und Meßtechnik), Tagungsbüro, 8027 Dresden, Mommsenstr. 13, Telefon 463 4463, 463 2244, 463 2449.

„Röntgenaugen" blicken in die brennende Kohle

Mit Hilfe von Röntgenstrahlen haben Wissenschaftler der Fa. General Electric, Phoenix/USA, einen direkten Einblick in die Vorgänge innerhalb eines brennenden Kohlestücks gewinnen können. Sie bedienten sich dabei der Methode des zeilenweisen Abtastens tieferer Materialschichten mit Röntgenstrahlen (scanning), die auch schon in der medizinischen Diagnostik genutzt wird. Die dabei gewonnenen Signale aus beliebigen Tiefenebenen werden durch Computerverarbeitung zu optischen Farbbildern zusammengesetzt. Das neue Verfahren liefert bei der Analyse brennender Kohle direkte Vorstellungen von den Zersetzungs- und Verbrennungsvorgängen, die bisher nur auf der Grundlage theoretischer Berechnungen ermittelt wurden.
(ADN-BWT (18) 1486-3c)

Sensor für Gasgemische

Einen giftunempfindlichen katalytischen Gasdetektor, der in Bergwerken entflammbare Gasgemische aufspürt, haben Mitarbeiter der International Gas Detectors (Großbritannien) entwickelt. Bisherige Ausführungen waren durch die Empfindlichkeit, mit der sie auf Kontaktgifte reagierten, funktionsuntüchtig geworden. Der neue diffusionsgesteuerte Sensor DCP besteht aus zwei in Reihe geschalteten Heizfäden, die die Hälfte einer Brückenschaltung bilden. Die andere Brückenhälfte besteht aus zwei Festwiderständen und einem Potentiometer für Nulleinstellung. Enthält die Atmosphäre ein brennbares Gas, steigt die Temperatur in den Detektorheizfäden und damit auch der elektrische Widerstand. Die so zustande gekommene Ausgangsgröße aktiviert ein Alarmsignal.
(ADN-BWT (18) 1486-10c)

Gerät zur indirekten Temperaturmessung

Ein neuartiges Gerät zur indirekten Temperaturmessung ist im Elektrotechnischen Institut Leningrad in Zusammenarbeit mit Ozeanografen entwickelt worden. Das Radiometer dient vor allem dazu, Wassertemperaturen von Flugzeugen aus zu messen. So können z. B. der Zeitpunkt des Zufrierens der Wasseroberfläche genau bestimmt oder Fischschwärme geortet werden. Weiterhin kann das Gerät zur Bestimmung günstiger Zeiten für die Feldbestellung und auch zur Kontrolle bestimmter technologischer Prozesse in der Industrie eingesetzt werden.
Im Vergleich mit ähnlichen Geräten für indirekte Temperaturmessung zeichnet sich dieses Radiometer durch geringe Abmessungen und durch Unempfindlichkeit gegenüber Vibrationen aus.
(ADN-BWT (18) 1485-5b)

Japanische Roboter lernen laufen

In Japan entwickelte „laufende" Roboter (walking robots) bestehen aus einem lenkbaren und angetriebenen Fahrgestell, dem Prozessor und Ultraschallsensoren. Ein besonderes ausgereiftes System entstand im Technologie-Institut in Tokio. An seinem oberen Ende ist ein gepulster Infrarotsender eingebaut, und über Infrarotsensoren können sich solche Fahrzeuge gegenseitig orten. Mit Hilfe der gleichstrombetriebenen, drehbaren Ultraschallsensoren wird die Umgebung im Entfernungsbereich von 30 cm bis 5 m abgetastet, die Umgebungsinformationen werden gespeichert und entsprechend der einprogrammierten Strategie (lernendes System) verarbeitet. Daraus leitet sich die jeweilige Verhaltensweise des Roboters ab.
(ADN-BWT (18) 1491-2c)

KURZFASSUNGEN

Giesler, H.: IA 2.1.

Beitrag zum Verzögerungsverhalten von PT-Gliedern 3. Ordnung

msr **25** (1982) H. 9, S. 482–485

Die Zeitkonstanten einer Regelstrecke bestimmen Form, Größe und Lage ihrer Frequenzgang-Ortskurve. Im Beitrag wird an PT-Gliedern 3. Ordnung die gegenseitige Beeinflussung der Verzögerungsanteile und der Einfluß der einzelnen Zeitkonstanten auf die Lage der jeweiligen Ortskurve untersucht und dargestellt.

Breitenecker, F.: IA 2.3.1.5.

Zur Lösung des linear-quadratischen Optimal-Control-Problems

msr **25** (1982) H. 9, S. 485–489

Es wird ein Verfahren zur Lösung des linear-quadratischen Optimal-Control-Problems vorgestellt, in dem die zu lösenden Differentialgleichungen unabhängig von den Randwerten sind. Optimale Steuerung und Zustandsvektoren zu aktuellen Randwerten werden nur mehr durch Lösung linearer Gleichungssysteme punktweise berechnet.

Liß, E.: IA 2.5; 6.2.

Lernender Homöostat zur Demonstration adaptiver Steuerungen mit künstlichem Intellekt

msr **25** (1982) H. 9, S. 489–493

Die technische Realisierung von adaptiven Steuerungen mit künstlichem Intellekt gewinnt zunehmend an Bedeutung. Sie erfordert verstärkte interdisziplinäre Forschungen zwecks Modellierung intelligenter Systeme mit Lernfähigkeit. Vom Autor wird ein technisch erprobtes Modell „lernender Homöostat" vorgestellt. Es hat die modifizierbare logische Struktur eines intelligenten Automaten, analog dem Gedächtnis des Gehirns. Über Definitionen und Thesen für Grundprinzipien des intelligenten Automaten wird, Bezug nehmend auf bisherige Veröffentlichungen des Autors, kurz informiert.

Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.: IA 2.3.1.7.; 5.5.1.

Anwendung und Vergleich von 6 Entwurfsverfahren für Mehrgrößenregelungen auf ein Dampferzeugermodell

msr **25** (1982) H. 9, S. 494–499

Es werden 6 Entwurfsmethoden für optimale bzw. suboptimale Zustands- und Ausgangsgrößenregler auf ein Dampferzeugermodell 20. Ordnung mit 5 Stell- und 9 Ausgangsgrößen angewendet. Die erzielten Ergebnisse werden hinsichtlich des Aufwandes zur Berechnung des Reglers, des Aufwandes zur gerätetechnischen Umsetzung und der erzielbaren Regelgüte verglichen und eingeschätzt. Unter diesen Aspekten verdienen optimale und suboptimale Ausgangsgrößenregler den Vorzug.

Vetter, R.: IA 3.2.1.

Entwicklung eines Flächenmassemeßgerätes zur Messung statischer und dynamischer Parameter im Druckprozeß

msr **25** (1982) H. 9, S. 502–505

Ein wesentlicher Parameter im Offset-Druckprozeß ist die Farb- und Feuchtmitteldicke auf der Druckform. Im Hinblick auf die Prozeßanalyse und Prozeßmodellierung ist es erforderlich, die dynamischen Änderungen dieser Prozeßgröße zu messen. Im Beitrag wird über die Entwicklung eines universell einsetzbaren Flächenmassemeßgerätes nach dem beta-Rückstreuprinzip berichtet.

Prautsch, A.: IA 4.2.2.

Algorithmus für die Berechnung von Segmentblenden

msr **25** (1982) H. 9, S. 506–508

Es werden Formeln zur Berechnung von Segmentblenden angegeben und aus der Literatur ergänzt. Damit wird ein Algorithmus zur Berechnung von Segmentblenden aus dem Durchfluß und umgekehrt entwickelt.

Rohr, H.: IA 6.1.

„Moderne Technik von gestern" — eine Ausstellung zur Geschichte der Elektrotechnik und Automatisierung

msr **25** (1982) H. 9, S. 526–531

Mit ihrer 1/4jährigen Ausstellung im Alten Rathaus Leipzig im Jahre 1981 haben der FUA „Geschichte der Automatisierungstechnik" der WGMA und die AG „Gerätesammlung" der TH Leipzig eine neue, höhere Qualität in der Entwicklung ihres Museums erreicht. Ein „historisches Praktikum" zum Experimentieren für die Museumsbesucher und ein „berichtender Teil" zum wissenschaftlichen Vertiefen in die Technikgeschichte waren Inhalt der Ausstellung. An Beispielen zeigt der Beitrag Möglichkeiten zur Nutzung dieses Museumsgutes durch Besucher unterschiedlichster Voraussetzungen und Qualifikationen. 15000 Besucher wurden gezählt.

РЕЗЮМЕ

Giesler, H.: IIA 2.1.

Статья о характеристике задержки звеньев PT 3. порядка

msr **25** (1982) № 9, стр. 482–485

Постоянные времени объекта регулирования определяют форму, величину и положение частотной амплитудно-фазовой характеристики. В статье на примере звеньев PT 3. порядка изображены и исследованы взаимное воздействие долей задержки и влияние отдельных постоянных времени на положение соответствующей амплитудно-фазовой характеристики.

Breitenecker, F.: IIA 2.3.1.5.

О решении проблемы линейно-квадратичного оптимального управления

msr **25** (1982) № 9, стр. 485–489

Представлен метод решения проблемы линейно-квадратичного оптимального управления, в котором решаемые дифференциальные уравнения являются независимыми от граничных значений. Оптимальное управление и векторы состояния по актуальным граничным значениям вычисляются по пунктам путем решения систем линейных уравнений.

Liß, E.: IIA 2.5; 6.2.

Обучающий гомеостат для демонстрации адаптивных управлений с некусственным интеллектом

msr **25** (1982) № 9, стр. 489–493

Техническая реализайия адаптивных управлений с искусственным интеллектом приобретает всё более значение. Она требует усиленных интердисциплинарных исследований с целью моделирования интеллигентных систем со способностью обучения. Автором представлена технически испытанная модель „обучающего гомеостата". Она имеет модифицируемую логическую структуру интеллигентнофо автомата по аналогии памяти мозга. Дана короткая информация об определениях и тезисах для основных принципов интеллигентного автомата, ссылаясь на прежние публикации автора.

Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.: IIA 2.3.1.7.; 5.5.1.

Применение и сравнение 6 методов разработки для регулирования по нескольким параметрам на модели парогенератора

msr **25** (1982) № 9, стр. 494–499

Применены 6 методов разработки для оптимальных и субоптимальных регуляторов состояния и выходных величин на модели парогенератора 20. порядка с 5 регулирующими и 9 выходными величнами. Достигнутые результаты сравнены и оценены относительно затраты на расчет регулятора, затраты на приборотехническое преобразование, а также относительно достигнутого качества регулирования. Под этими аспектами необходимо дать предпочтение оптимальным и субоптимальным регуляторам выходных величин.

Vetter, R.: IIA 3.2.1.

Разработка прибора измерения массы площади для измерения статических и динамических параметров в процессе печати

msr **25** (1982) № 9, стр. 502–505

Охновным параметром в процессе офсетной печати является толщина стабилизатора влажности и краски на печатной форме. Относительно анализа процесса и моделирования процесса необходимо измерять динамические изменения данных величин процесса. В статье доложено о развитии универсально применяемого прибора измерения массы площади, работающего по принципу бета-обратного рассеяния.

Prautsch, A.: IIA 4.2.2.

Алгоритм расчета сегментных диафрагм

msr **25** (1982) № 9, стр. 506–508

Приведены формули для расчета сегментных диафрагм и дополнены данными из литературы. Таким образом разработан алгоритм для расчета сегментных диафрагм из расхода и наоборот.

Rohr, H.: IIA 6.1.

Современная техника от вчера — выставка об истории электротехники и автоматизации

msr **25** (1982) № 9, стр. 526–531

При помощи трехмесячной выставки в Старой ратуше в г. Лейпциге в 1981 г. специальная подкомиссия „История техники автоматизации" научного общества измерительной техники и автоматизации и кружок „Коллекция приборов" Технического вуза г. Лейпцига достигли нового, более высокого качества в развитии своего музея. Содержанием выставки были „историческая практика" для посетителей музея с целью экспериментирования и „докладывающая часть" для научного углубления в историю техники. На примерах статья показывает возможности использования данного материала музея посетителями различного предположения и квалификации. Численность посетителей: 15000.

SUMMARIES

Giesler, H.: IA 2.1.

Contribution to the Inertia Behavior of Third-Order Low Pass Elements

msr **25** (1982) No. 9, pp. 482—485

The time constants of a plant determine the form, size and position of its frequency response. In this contribution the author studies and represents the mutual influence of the inertia parts and the influence of the individual time constants upon the position of the corresponding frequency response for the case of third-order low pass elements.

Breitenecker, F.: IA 2.3.1.5.

On the Solution of the Linearly Quadratic Optimal Control Problem

msr **25** (1982) No. 9, pp. 485—489

T he author presents a method for the solution of the linearly quadratic optimal control problem where the differential equations to be solved are independent upon the boundary values. The optimal control and state vectors for the actual boundary values are calculated point by point only by solving linear equation systems.

Liß, E.: IA 2.5.; 6.2.

A Learning Homeostat for the Demonstration of Adaptive Controls with Artificial Intellect

msr **25** (1982) No. 9, pp. 489—493

The technical realization of adaptive controls with artificial intellect becomes more and more important and requires augmented interdisciplinary research for the modelling of intelligent systems containing the ability of learning. The author presents a technically proved model "learning homeostat" which has the modifiable logic structure of an intelligent automaton analogously to the memory of the brain. Definitions and theses for basic principles of the intelligent automaton are briefly summarized.

Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.: IA 2.3.1.7.; 5.5.1.

Application and Comparison of 6 Methods for the Design of Multivariable Feedback Controls with a Steam Generator Model

msr **25** (1982) No. 9, pp. 494—499

The authors apply 6 design methods for optimal and suboptimal state and output feedback controllers to a 20th-order steam generator model with 5 final control and 9 output variables. The obtained results are compared and estimated with regard to the expense for controller calculation and technical realization as well as obtainable control performance. Taking these aspects into consideration the optimal and suboptimal output feedback controllers should be preferred.

Vetter, R.: IA 3.2.1.

Development of a Surface Mass Measurement Device for Measuring Static and Dynamic Parameters in the Printing Process

msr **25** (1982) No. 9, pp. 502—505

An essential parameter in the offset printing process is the colour and moisture means thickness on the chase. With regard to process analysis and process mo deling it is necessary to measure the dynamical changes of this process quantity. In this contribution the author reports on the development of a universally applicable surface mass measurement device based upon the beta-reverse scattering principle.

Prautsch, A.: IA 4.2.2.

An Algorithm for the Calculation of Segmental Orifices

msr **25** (1982) No. 9, pp. 506—508

The author presents formulae for the calculation of segmental orifices andcompletes them by means of the literature .With this, an algorithm for the calculation of segmental orifices from the flow and vice versa is developed.

Rohr, H.: IA 6.1.

„Modern Engineering of Yesterday" — an Exposition on the History of Electrical Engineering and Automation

msr **25** (1982) No. 9, pp. 526—531

By their exposition lyasting three months in the Leipzig old town hall in 1981 the special subcommittee "history of automation" of the WGMA society and the working group "collection of devices" of the Leipzig Technical College have obtained a new and higher quality in the development of their museum. A "historical practice" for museum visitor's experiments and a "reporting part" for scientific absorption into the history of engineering were the contents of the exposition. By means of examples the contribution shows possibilities for using these museum goods by visitors of different education and qualification. 15 000 visitors have been counted.

RÉSUMÉ

Giesler, H.: IA 2.1.

Une contribution au comportement d'inertie d'éléments passe-bas du troisième ordre

msr **25** (1982) No. 9, pp. 482—485

Les contstantes de temps d'un objet à asservir déterminent la forme, la largeur et la position de sa réponse fréquentielle. Dans cette contribution, l'auteur étudie et représente l'influence mutuelle des parts d'inertie et l'influence des individuelles constantes de temps sur la position de la correspondante caractéristique fréquentile pour le cas d'éléments passe-bas du troisième ordre.

Breitenecker , F.: IA 2.3.1.5.

Sur la solution du problème de commande optimal linéairement quadratique

msr **25** (1982) No. 9, pp. 485—489

L'auteur présente une méthode pour la solution du problème de commande optimal linéairement quadratique où les équations différentielles à résoudre sont indépendantes des valeurs limites. La commande optimale et les vecteurs d'état pour les valeurs limites actuelles sont calculés point par point seulement par solution de systèmes d'équations linéaires.

Liß, E.: IA 2.5.; 6.2.

Un homéostat à apprentissage pour la démonstration de commandes adaptives à intellect artificiel

msr **25** (1982) No. 9, pp. 489—493

La réalisation technique de commandes adaptives à intellect artificiel devient de plus en plus important et exige des recherches interdisciplinaires augmentées pour la modelisation de systèmes intelligents contenan t la capacité de l'apprentissage. L'auteur présente un modèle "homéostat à apprentissage" techniquement éprouvé qui a la structure logique modifiable d'un automate intelligent analogiquement à la mémoire du cerveau. Des définitions et thèses pour des principes de base de l'automate intelligent sont birèvement résumées.

Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.: IA 2.3.1.7.; 5.5.1.

L'emploi et la comparaison de 6 méthodes pour le projet de réglages multidimensionnels près un modèle de génétraeur de vapeur

msr **25** (1982) No. 9, pp. 494—499

Les auteurs emploient 6 méthodes de projet pour des régulateurs optimaux et suboptimaux à retour d'état et à retour de sortie en connection avec un modèle de générateur de vapeur du vingtième ordre avec 5 variables de manoeuvre et 9 variables de sortie. Les résultats obtenus sont comparés et estimés en vue de la dépense pour le calcul du régulateur et la réalisation technique ainsi que performance de réglage obtenable. En tenant compte de ces aspects, il est recommandé d'employer les régulateurs optimaux et suboptimaux à retour de sortie.

Vetter, R.: IA 3.2.1.

Le développement d'un dispositif de mesure de masse superficielle pour la mesure de paramètres statiques et dynamiques dans le processus d'impression

msr **25** (1982) No. 9, pp. 502—505

Un paramètre essentiel dans le processus d'impression offset est l'épaisseur de la substance de couleur et de moiteur sur le châssis d'imprimerie. En vue de l'ane lyse de processus et de la modélisation de processus, il faut mesurer les changaments dynamiques de cette grandeur de processus. Dans cette contribution, l'auteur rapporte sur le développement d'un dispositif de mesure de masse superficielle qui est applicable universellement et basé sur le principe de beta-dispersion à retour.

Prautsch, A.: IA 4.2.2.

Un algorithme pour le calcul d'orifices à segment

msr **25** (1982) No. 9, pp. 506—508

L'auteur présente des formules pour le calcul d'orifices à segment et les complète à l'aide de la littérature. Avec cela, un algorithme pour le calcul d'orifices à segment à partir du débit et inversement est développé.

Rohr, H.: IA 6.1.

„La technique moderne d'hier" — une exposition sur l'histoire de l'électrtoechnique et de l'automation

msr **25** (1982) No. 9, pp. 526—531

Par leur exposition de trais mois dans le vieux hôtel de ville de Leipzig en 1981, le subcomité spécial "histoire de l'automation" de la société WGMA et le groupe de travail "collection de dispositifs" de l'Ecole Polytechnique de Leipzig ont obtenu une nouvelle qualité plus haute dans le dévdoppement de leur museé. Une "pratique historique" pour faire expérimenter les visiteurs de musée et une "partie rapportante" pour l'approfondissement scientifique dans l'histoire de la technique étaient le contenu de l'exposition. A l'aide d'exemples, la contribution montre les possibilités pour l'emploi de ce bien de musée par les visiteurs d'éducation et de qualification différentes. 15 000 visiteurs étaient comptés.

Bestellschein

Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Inland **beim örtlichen Buchhandel** bestellen.

Expl.

Projektierung von Automatisierungsanlagen

Autorenkollektiv
unter Leitung von Prof. Dr. sc. techn. *R. Müller*
2., stark bearb. Aufl., 352 Seiten, 226 Bilder
Kunstleder 30,— M
Bestell-Nr. 5531067 .....

Elektrische Maschinen

Grundlagen, Aufbau und Wirkungsweise
Prof. Dr.-Ing. habil. *G. Müller*
5., bearb. Aufl., 540 Seiten, 542 Bilder, 33 Tafeln
Kunstleder 40,— M
Bestell-Nr. 5530662 .....

Relaisschutztechnik in Elektroenergiesystemen

Dr.-Ing. *H. Clemens*
und Dr. sc. techn. *K. Rothe*
2., durchgesehene Aufl., 324 Seiten, 258 Bilder, 24 Tafeln
Kunstleder 24,— M
Bestell-Nr. 5527164 .....

TECHNIK-WÖRTERBUCH

Korrosion — und Korrosionsschutz
Russisch-Deutsch / Deutsch-Russisch
Autorenkollektiv
unter der Leitung von *H. Gross*
mit je etwa 8000 Wortstellen
Kunstleder 24,— M
Bestell-Nr. 5531104 .....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

....

....

....

....

.....
Name, Vorname

.....
Anschrift mit Postleitzahl

....
Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik, Wissenschaftliche Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd
Verlagsdirektor	Dipl.-oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362) Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (Telefon: 2870374)
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer“, 5820 Bad Langensalza
	Umschlag — eingetragene Schutzmarke des Warenzeichenverbandes Regelungstechnik e. V., Berlin
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201. Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing
ČSSR	PNS — Ústrední Expedicia a Dovoz Tisku Praha Vinohradská 41, 12505 Praha PNS, Ústred na Expedicia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei şi Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucureşti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	Brücken-Verlag GmbH, Ackerstraße 3, 4000 Düsseldorf 1; ESKABE Kommissions-Grossbuchhandlung, Postfach 30, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Genossenschaft Literaturvertrieb, Cramerstraße 2, 8004 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160, und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29.

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. des Instituts enthalten.
Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1982 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Isotimpex

Elektronisches Taxameter ELTAX 20

Das Taxameter errechnet den Fahrpreis, den gesamten vom Auto zurückgelegten Weg, den mit dem Fahrgast zurückgelegten Weg, die Anzahl der Fahrten (Touren) und die Summe der abgerechneten Fortschaltbeträge.
Eltax 20 ist ein auf LSI-MOS-Schaltkreisen aufgebauter Taxi-Mikrocomputer. Der Fahrpreis wird durch ein 7-Segment-Display (Lichtemitterdioden) angezeigt. Die Kontrolldaten werden von elektromechanischen Zählern gespeichert. Eltax 20 arbeitet in 4 Tarifstufen. Grundtaxe, Tarife, Gebühren und Kenngrößen können in Abhängigkeit vom Autotyp leicht und schnell eingestellt werden.

Die Einstellung erfolgt durch Wechsel von Verbindungen im Kodefeld. Mit der Grundtaxe kann eine bestimmte Wegstrecke oder Wartezeit vorausbezahlt werden.
Eltax 20 ist mit dem Auto über einen Fotogeber verbunden. Der Geber hat ein geringes Gewicht und geringe Abmessungen. Er wird zwischen dem Tachometer und der Tachometerantriebswelle eingebaut.

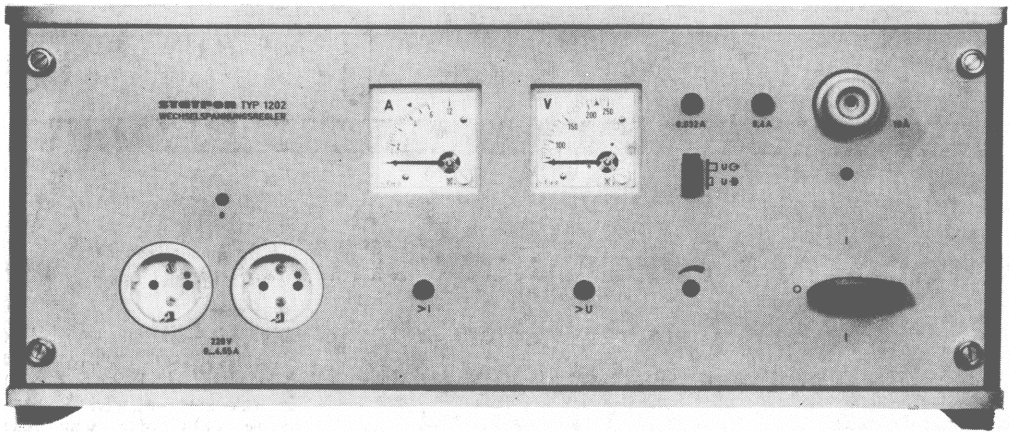
Technische Daten:

- Arbeitsstellungen:
  „Frei", „Tarife" 1—4,
  „Klasse"
- Angezeigte Kenngrößen:
  Fahrpreis, Grundtaxe, Total-Kilometer, Besetzt-Kilometer, Anzahl der Fahrten, Summe der Fortschaltbeträge
- Anzeigen:
  5stellige LED-Anzeige für den Fahrpreis und 1stellige LED-Anzeige für die Tarife
- Abmessungen:
  175 × 165 × 96 mm
- Masse:
  1,6 kg
- Versorgungsspannung:
  9 bis 15 V (Akkumulator des Autos)
- Leistungsaufnahme:
  5 W bei 12 V
- Schutz gegen Funkstörungen

Export:

AHO »ISOTIMPEX«, Tschapaewstr. 51 · Sofia/VR Bulgarien
Ruf: 74-61-51 · FS 022731, 022732

35936 9 159 549 964
APW
4011 7001 1003 SHAT 41



HEIM-ELECTRIC

EXPORT-IMPORT

VOLKSEIGENER AUSSENHANDELSBETRIEB
DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK

DDR-1026 BERLIN·ALEXANDERPLATZ
HAUS DER ELEKTROINDUSTRIE

Wechselspannungsregler für 220 V

Typ	Ausgangs-leistung	Änderung der Ausgangsspannung innerhalb des Regelbereiches (187...242 V)	Änderung der Ausgangsspannung bei Belastung von 0...100%	Ausregelzeit	Oberwellen-anteil	Abmessung BxHxT	Masse
	W	%	%	s	%	mm	kg
1205	150	0,07	0,7	0,1	3...10	360x160x300	15
1201	500	0,05	0,05	0,04	1	480x160x300	26
1202	1000	0,05	0,05	0,04	3	480x200x300	33
1203	2000	0,05	0,05	0,04	3	560x490x300	56
1204	5000	0,1	0,1	0,04	5	800x650x400	150

RFT

veb statron

DDR · 124 FÜRSTENWALDE
EHRENFRIED-JOPP-STR. 59
TEL.: 60 51 TELEX: 168641